



Treball Final de Grau

Disseny d'una interfície HMI pel control i monitorització de l'estació IPC201-C

**Grau en Enginyeria Electrònica
Industrial i Automàtica**

Curs 17/18

Autor: López Pérez, Èric

Director: Escobet, Teresa / Martínez, Immaculada

Data: Divendres, 11 de Maig de 2018

Localitat: Manresa – UPC Manresa (EPSEM)

Agraïments

A les meves tutores, *Immaculada Martínez i Teresa Escobet* la seva gran ajuda, paciència, pel seu tracte personal i el seu esforç i interès en tot moment d'una forma totalment desinteressada. Sense la seva ajuda no hagués estat possible la realització d'aquest projecte amb el qual finalitzo una etapa important de la vida que fa temps veia molt lluny.

Moltes gràcies!

Resum del projecte

Aquest projecte final de grau té com a objectiu la creació d'una interfície home-màquina (HMI) per tal de poder controlar i monitoritzar el mòdul de control i regulació de diverses variables.

Amb el entorn de programació LabVIEW s'ha fet possible la creació d'aquesta interfície HMI per tal de controlar i monitoritzar l'estació IPC-201C.

Aquesta interfície controlarà moltes variables, tant lògiques com analògiques. Les quatre variables analògiques que es controlen són:

- Control de temperatura
- Control de nivell
- Control de caudal
- Control de pressió

En el treball, s'explica tot el procés seguit per arribar a la creació d'aquesta aplicació SCADA amb LabVIEW que ens farà de interfície entre l'usuari i l'estació de treball controlada per un autòmat programable (PLC) el qual també es desenvoluparà el procés de programació.

Resumen del proyecto

Este proyecto final de carrera tiene como objetivo la creación de una interfaz hombre-maquina (HMI) para poder controlar y monitorizar el módulo de control y regulación de diferentes variables.

Con el entorno de programación LabVIEW se ha hecho posible la creación de esta interfaz HMI para el control y monitorización de la estación IPC-201C.

Esta interfaz controlará muchas variables, tanto lógicas como analógicas. Las cuatro variables analógicas que se controlan son:

- Control de temperatura
- Control de nivel
- Control de flujo
- Control de presión

En el trabajo, se explica todo el proceso seguido para llegar a la creación de esta aplicación SCADA con LabVIEW que nos hará de interfaz entre el usuario y la estación de trabajo controlada por un autómata programable (PLC) el cual también se desarrollará el proceso de programación.

Summary of the project

This final project aims to create a human-machine interface (HMI) to control and monitor the control and regulation module of different variables.

With the LabVIEW programming environment, it has been possible to create this HMI interface for the control and monitoring of the IPC-201C station.

This interface will be control some variables, both logic and analogic. The four analogic variables that are controlled are:

- Temperature control
- Level control
- Flow control
- Pressure control

In the project, the entire process followed is explained to arrive at the creation of this SCADA application with the LabVIEW that will make us the interface between the user and the workstation controlled by a programmable logic controller (PLC) which will also develop the programming process.

ÍNDEX

1. Introducció	11
1.1. Justificació del treball	11
1.2. Localització del sistema IPC-201C	12
1.3. Objectius	13
1.4. Abast del treball	13
2. Descripció del banc de treball	15
2.1. Presentació general	15
2.2. Estació de producció	16
2.3. Estat actual	18
3. Parts integrants del sistema IPC-201C	19
3.1. Mòduls (Dipòsits)	19
3.1.1. Dipòsit auxiliar d'acer	19
3.1.2. Dipòsit lateral esquerre	19
3.1.3. Dipòsit central	21
3.1.4. Dipòsit lateral dret	22
3.2. Sensors	23
3.2.1. Sensors de nivell màxim i mínim (Capacitiu)	23
3.2.2. Sonda de temperatura (PT100)	24
3.2.3. Cabalímetre	25
3.2.4. Sensor de nivell (Pressió diferencial)	27
3.3. Actuadors	27
3.3.1. Cèl·lules Peltier	27
3.3.2. Motobomba	28
3.3.3. Electrovàlvules 24VDC	30
3.4. Unitat de control: CJ1M-ETN21	31
3.4.1. Unitat d'entrades digitals: ID211	32
3.4.2. Unitat de sortides digitals: OD212	33
3.4.3. Unitat d'entrades analògiques: AD081	34

3.4.4.	Unitat inicial de sortides analògiques: DA041	37
3.5.	Altres dispositius	39
3.5.1.	Grup de tractament d'aire	39
3.5.2.	Unitat final de sortides analògiques: NI 9263	41
3.5.3.	Regulador de CC PWM	43
3.5.4.	Adaptadors de corrent / tensió	44
3.5.5.	Fonts d'alimentació	45
3.5.6.	Botonera	46
4.	Esquemes i posta a punt de l'estació	47
4.1.	Esquema electró-pneumàtic	47
4.2.	Esquema elèctric	48
4.3.	Posta a punt de l'estació	53
4.4.	Pressupost	61
5.	Interfície HMI (SCADA)	62
6.	Regulació i control de variables	74
6.1.	Control de temperatura	75
6.2.	Control de nivell	78
6.3.	Control de pressió	79
6.4.	Control de cabal	80
7.	Conclusions	83
8.	Bibliografia	86

Índex de figures

Figura 1. Piràmide d'automatització industrial.	11
Figura 2. Localització del mòdul IPC201-C en la piràmide d'automatització.	12
Figura 3. Estació de treball IPC-201C.	15
Figura 4. Dipòsit auxiliar.	19
Figura 5. Dipòsit esquerre (Dip1).	20
Figura 6. Dipòsit central (Dip2).	21
Figura 7. Dipòsit dret (Dip3).	22
Figura 8. Sensor capacitiu de nivell.	23
Figura 9. Sonda PT100 amb cap amplificador KD.	24
Figura 10. Cabalímetre.	25
Figura 11. Remolins de Karman.	26
Figura 12. Principi de funcionament "Remolins de Karman".	26
Figura 13. Sensor de pressió diferencial PSE550 de SMC.	27
Figura 14. Model Peltier.	28
Figura 15. Motobomba 12VDC.	29
Figura 16. Motobomba 24VDC.	29
Figura 17. Electrovàlvula proporcional 24VDC.	30
Figura 18. SYSMAC CPU11-ETN21.	31
Figura 19. Font d'alimentació PA202.	32
Figura 20. Mòdul ID211.	32
Figura 21. Connexions de la unitat ID211.	33
Figura 22. Mòdul OD212.	33
Figura 23. Connexions de la unitat OD212.	34
Figura 24. Mòdul AD081.	34
Figura 25. Switch de tensió/corrent i diagrama de connexions del mòdul AD081.	35
Figura 26. Llistat de DM's configurables.	36
Figura 27. Valors per configurar les entrades analògiques.	36
Figura 28. Diagrama de connexions del mòdul de sortides DA041.	37
Figura 29. Llistat de DM's configurables (sortides).	38
Figura 30. Valors per configurar les sortides analògiques.	39
Figura 31. Grup tractament d'aire.	39
Figura 32. Transductor de pressió ITV1000.	40
Figura 33. Pont de Wheatstone.	41
Figura 34. Assignacions dels terminals NI 9263.	41
Figura 35. Connexió d'una càrrega al mòdul NI 9263.	42

Figura 36. Circuit intern dels canals de NI 9263.....	42
Figura 37. Hi-Speed USB Carrier NI USB-9162.....	43
Figura 38. Jumper JB per la selecció del mode regulació.	44
Figura 39. Esquema connexionament regulador Cebek R-25.....	44
Figura 40. Font d'alimentació OMRON.	45
Figura 41. Botonera.	46
Figura 42. Esquema electropneumàtic de l'estació IPC201C.....	47
Figura 43. Caixa de generació d'averies (Troub-200).	54
Figura 44. Relé G2RV-1-S 21DC.....	55
Figura 45. Cavitat de l'electrovàlvula amb incrustacions.	58
Figura 46. Electrovàlvula desmuntada amb incrustacions visibles.	59
Figura 47. Electrovàlvula netejada.....	59
Figura 48. Millora proposada per l'estació de treball IPC201-C.....	60
Figura 49. Maqueta neta, modificada i llesta per treballar.	61
Figura 50. Automatic Mode (Default) / Manual Mode	62
Figura 51. Transvasament de líquids en %.	62
Figura 52. Start Button / Stop Button	63
Figura 53. LED d'informació de l'estat del sistema.	63
Figura 54. Indicador condicions inicials OK.....	64
Figura 55. Indicador de cabal.....	64
Figura 56. Dipòsit esquerra (<i>dip1</i>) - SCADA.	65
Figura 57. Comparació dels polsadors d'obrir/tancar depenent del sistema actiu.	65
Figura 58. Dipòsit esquerra (<i>dip2</i>) - SCADA.	66
Figura 59. Dipòsit esquerra (<i>dip3</i>) - SCADA.	66
Figura 60. Dipòsit auxiliar - SCADA.	67
Figura 61. Indicador cicle finalitzat.....	67
Figura 62. Polsador de buidat de mescla.....	67
Figura 63. Tab Control.	68
Figura 64. Workspace de les gràfiques de les variables a controlar.....	68
Figura 65. Polsador per netejar els valors de la gràfica.....	69
Figura 66. Desplegable de variables i control del <i>Sampling Time (ms)</i>	69
Figura 67. Polsador encarregat d'iniciar el procés d'adquisició de dades.....	70
Figura 68. Finestra emergent per desar les dades.....	70
Figura 69. Indicador del valor actual de la variable en temps real.....	70
Figura 70. Polsador encarregat d'aturar el procés d'adquisició.	71
Figura 71. Polsador <i>Finalitzar comunicació</i>	71
Figura 72. Pestanya "Automàtic / Manual" de la interfície HMI.....	72

Figura 73. Pestanya "Gràfiques" de la interfície HMI.....	73
Figura 74. Sistema en llaç tancat.....	75
Figura 75. Recta característica de la sonda PT100 (Escalada).....	75
Figura 76. Gràfica d'una equació lineal.....	76
Figura 77. Funció SCL(194) en diagrama de relés.....	77
Figura 78. Control de temperatura en llaç tancat.....	77
Figura 79. Recta característica del sensor de pressió diferencial (Nivell).....	78
Figura 80. Control del nivell en llaç tancat.....	79
Figura 81. Sensor ISE40 de SMC.....	80
Figura 82. Estructura a llaç obert pel control de pressió.....	80
Figura 83. Recta característica del sensor de pressió diferencial (Cabal).....	81
Figura 84. Flow switch de la sèrie PF2W3 de SMC.....	81
Figura 85. Estructura a llaç tancat pel control de cabal.....	82

Índex de taules

Taula 1. Connexions del mòdul d'entrades lògiques ID211 amb els elements de la maqueta.....	49
Taula 2. Connexions del mòdul de sortides lògiques OD212 amb els elements de la maqueta.....	50
Taula 3. Connexions del mòdul d'entrades analògiques AD081 amb els elements de la maqueta.....	51
Taula 4. Connexions del mòdul de sortides analògiques NI9263 amb els elements de la maqueta.....	52
Taula 5. Modificació realitzada sobre el R13.....	55
Taula 6. Modificació realitzada sobre el R14.....	56
Taula 7. Modificació realitzada sobre el R15.....	56
Taula 8. Pressupost sobre les modificacions realitzades.	61

1. Introducció

1.1. Justificació del treball

L'automatització dels processos productius és un dels aspectes que més ha evolucionat en la indústria en els darrers anys. El fet de introduir noves tecnologies (electrònica, informàtica, telecomunicacions, etc.) amb tecnologies clàssiques com la mecànica i l'electricitat és el principal motiu pel qual l'evolució de la indústria a passes gegants està sent possible [22].

Aquesta integració de tecnologies queda representada en l'anomenada piràmide d'automatització (veure *Figura 1*), que recull els nivells tecnològics que envolten a la indústria, que concretament, són cinc.

No s'ha de confondre el concepte de nivells amb independència, ja que tots els nivells estan relacionats entre ells estretament a través dels estàndards de comunicació industrial, és a dir, que tots els nivells de la piràmide estan connectats entre sí.

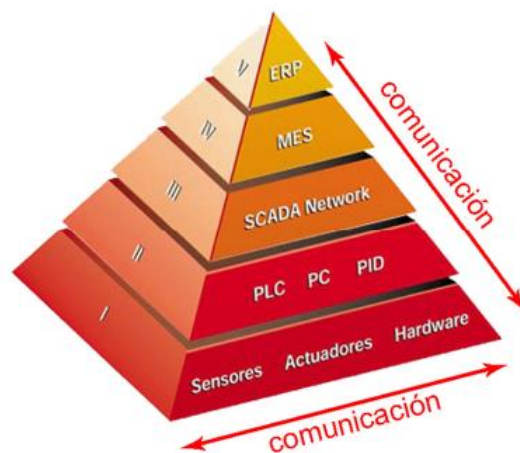


Figura 1. Piràmide d'automatització industrial.

Actualment, els cinc nivells de la piràmide d'automatització estan organitzats de la següent manera:

- El primer nivell o “nivell de camp” inclouen els dispositius físics presents en la indústria, com els sensors i actuadors.
- El segon nivell o “nivell de control” inclouen els dispositius controladors com els autòmats programables (PLCs), PIDs, etc.

- El tercer nivell o “nivell de supervisió” com el seu nom indica, correspon als sistemes de supervisió, control i adquisició de dades (SCADA – *Supervisory Control And Data Acquisition*).
- El quart nivell o “nivell de planificació” es troben els sistemes d'execució de la producció (MES – *Manufacturing Execution System*).
- El cinquè i últim nivell o “nivell de gestió” es componen pels sistemes de gestió integral de l'empresa (ERP – *Enterprise Resource Planning*).

1.2. Localització del sistema IPC-201C

Per fer-nos una idea i saber en quins nivell en l'àmbit de l'automatització estem treballant, ubicarem la nostra maqueta en la piràmide d'automatització.

La maqueta IPC201-C abraçaria tres nivells de la piràmide (veure *Figura 2*), que aquests serien els tres primers nivells, és a dir, que en aquest projecte treballarem amb diversos elements d'aquests tres nivells [18]:

- Sensors i actuadors (Nivell de camp).
- Autòmat Lògic Programable - PLC (Nivell de control).
- Creació d'un sistema SCADA (Nivell de supervisió).

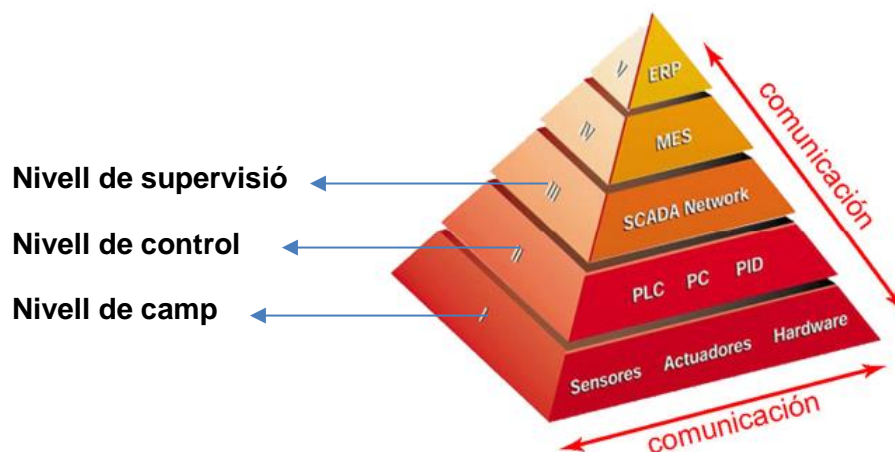


Figura 2. Localització del mòdul IPC201-C en la piràmide d'automatització.

1.3. Objectius

Abans de començar a treballar sobre la maqueta IPC-201C es van definir una sèrie d'objectius generals:

- Disseny i control del mòdul de regulació i control de variables analògiques mitjançant la creació d'una interfície HMI (SCADA).
- Control de les quatre variables (cabal, pressió, temperatura i nivell).
- Interfície simple i ràpida pel control d'un usuari.
- Programar a través de l'autòmat programable una aplicació industrial en l'estació de treball.
- Introduir dos modes de funcionament (manual i automàtic)
- Deixar a punt l'estació per a futures aplicacions.

1.4. Abast del treball

El treball final de grau que es desenvolupa a continuació descriu la realització d'una interfície home-màquina (HMI) per controlar mitjançant un SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) el mòdul de regulació i control de variables analògiques IPC-201C que es troba en el laboratori de control i automàtica de l'Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Manresa (EPSEM).

Aquesta maqueta consta de tres dipòsits més un d'auxiliar que simulen una planta de producció d'un producte líquid que disposa de diferents components d'actuació i de mesura basats tant en tecnologia analògiques com lògica.

Sobre el dipòsit central és on es treballarà amb la majoria de variables analògiques, ja que amb els components disponibles es podrà realitzar el control de nivell, caudal, pressió i temperatura del líquid present. A part, tots els dipòsits disposen de sensors capacitius de nivell màxim i mínim i el moviment d'aigua entre dipòsits es fa mitjançant diferents actuadors: vàlvules, bomba o aire a pressió.

La maqueta es controlada per un autòmat programable lògic (OMRON CJ1M-ETN21) amb els seus respectius mòduls extensibles juntament amb una tarja d'adquisició de National Instruments (NI 9263).

El software utilitzat per la creació de la interfície HMI (SCADA) és LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) una plataforma i entorn de desenvolupament

per dissenyar sistemes, amb un llenguatge de programació visual gràfic que guia a la simplicitat i rapidesa de desenvolupar aplicacions.

El sistema HMI desenvolupat incorpora dos modes de funcionament del procés:

- Mode manual
- Mode automàtic

A més, totes les dades de control de variables poden ser desades en un arxiu Excel per després poder tractar-les de la manera que més convingui.

La comunicació del sistema HMI s'ha fet a través de "tags" per tal de poder interactuar entre l'autòmat programable i l'ordinador. El programa principal es basa en la monitorització de la maqueta, és a dir, veure per pantalla l'estat de totes les variables i desar les dades d'aquests estats d'algunes de les variables.

En conclusió, el que s'explicarà en el següent document és com s'ha treballat per tal d'automatitzar i monitoritzar l'estació de treball creant un sistema SCADA per el seu control total.

2. Descripció del banc de treball

2.1. Presentació general

El mòdul de regulació i control de variables analògiques IPC-201C (veure *Figura 3*) consisteix en una maqueta de control de processos que simula una planta de producció de líquids integrant diverses tecnologies industrials [19].

Aquest mòdul es compatible amb la sèrie IPC200, és a dir, pot ser muntada juntament amb dues altres estacions de la sèrie, aconseguint així una maqueta de control de processos que simula una planta completa de producció, embotellat i paletitzat de líquids.

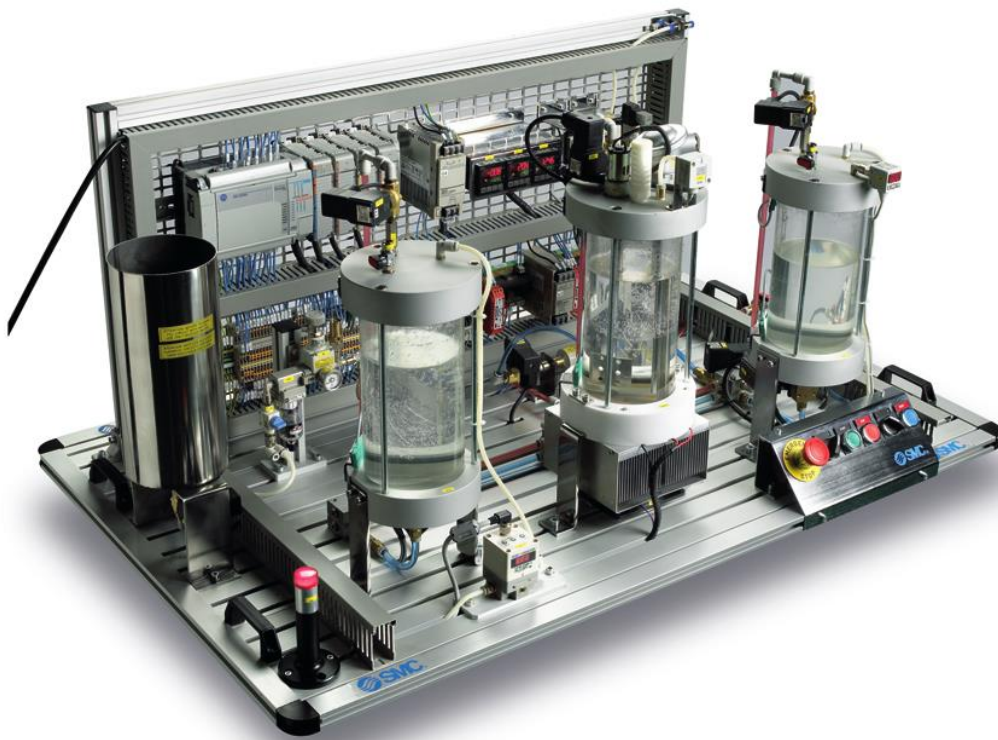


Figura 3. Estació de treball IPC-201C.

2.2. Estació de producció

L'estació de producció és l'etapa on el que busquem es simular la producció i la mescla de líquids.

En el nostre cas, es disposa de la maqueta amb regulació i control de variables analògiques, la qual cosa es deguda al fet de que durant el procés de producció i mescla dels líquids es pot realitzar una regulació i control de quatre variables analògiques:

- Temperatura
- Nivell
- Pressió
- Caudal

L'estació té el seu propi control, és a dir, que la maqueta incorpora tots els elements necessaris per poder-la controlar. A la part posterior hi ha incorporada la part elèctrica/electrònica que és l'encarregada del control de l'estació.

A la part dreta de l'estació es troba la botonera de control amb la que podem iniciar, parar o resetejar l'estació. A més, incorpora una balisa vermella per l'informe visual d'alarmes a l'usuari.

La botonera incorpora pulsadors de marxa, paro, reset, on/off (interruptor general), PLC/Controlador industrial (selector de control) i bolet d'emergència. A més, incorpora una balisa de color vermell per la senyalització d'alarmes.

L'estació està muntada sobre un perfil d'alumini ranurat de 1200 x 720 mm. Com a complements hi ha una unitat de tractament d'aire composta per una vàlvula manual 3/2, filtre, regulador de pressió amb manòmetre indicador i vàlvula de seguretat (tarada a 2 bars).

Els components dels mòduls de l'estació són: [19]

A. PNEUMÀTICA – ELECTROPNEUMÀTICA:

- 1 Electrovàlvula monoestable 3/2
- 1 Regulador de pressió proporcional ITV1030-01F2BL2-Q
- 3 Antiretorn

B. SENSÒNICA:

- 1 Pressòstat digital
- 1 Cabalímetre + 1 Display Cabalímetre
- 1 Sensor de pressió diferencial baixa + 1 Display per sensor diferencial
- 1 Sonda PT100 amb cap amplificador
- 6 Sensors capacitius (nivells mínims i màxims dels dipòsits; 2 per dipòsit).

C. CONTROL DE FLUIDS:

- 7 Electrovàlvules monoestables 3/2 de fluid
- 1 Electrovàlvula proporcional
- 1 Motobomba 24Vdc
- 2 Cèl·lules Peltier 12V – 73W de $Q_{m\grave{a}x}$.
- 4 Dipòsits (3 principals + 1 d'Auxiliar d'acer)

D. AUTOMÀTA PROGRAMABLE I CONTROLADORS INDUSTRIALS:

- 1 PLC Omron Sysmac CJ1M CPU11 – ETN amb 16 entrades i 16 sortides
- 1 Mòdul CJ1W – AD081 amb 8 entrades analògiques
- 1 Mòdul CJ1W – DA041 amb 4 sortides analògiques (en un inici, substituït per una tarja NI 9263 de National Instruments).
- 3 Controladors Industrials PID Omron E5CN i cables

E. QUADRE ELÈCTRIC:

- 1 Malla perforada de 1200 x 720 mm
- 1 Font d'alimentació de 24Vdc – 60W
- 3 Fonts d'alimentació de 24Vdc – 120W
- 2 Reguladors de CC PWM de 8A
- 2 Aïlladors condicionadors de senyal
- 1 Magneto tèrmic de 10A
- 1 Caixa de generació d'averies Troub200
- 63 bornes de connexionat elèctric
- Cables d'alimentació de 1.5mm²
- Cables de senyals de 0.75mm²
- Etiquetes i identificadors per a tots els cables

2.3. Estat actual

Abans de començar a treballar amb la maqueta IPC201-C s'ha fet un estudi de la situació en la qual és troba i en quin estat per poder valorar des de quin punt podíem iniciar l'aplicació del nostre projecte un cop definits els objectius marcats inicialment.

Inicialment, l'estació de treball és troba en un estat correcte des del punt visual (deixant de banda el fet de la neteja degut a la seva inutilització durant diversos anys).

Pel que fa la part elèctrica, s'havia de començar des de zero per veure si tots els elements de control i potència estaven en un bon estat de funcionament. La bomba que subministra l'entrada de líquid al circuit a l'anar accionada directament per interruptor ja es va veure que no funcionava.

Les connexions a l'autòmat programable es feien a través d'un bus de connexions que no estaven reconegudes en cap mena d'esquema i, per tant, s'hauria de treure i connectar directament a l'autòmat per tal de poder iniciar des dels esquemes proporcionats per SMC i tenir clares les connexions de cadascun dels sensors i actuadors de l'estació.

D'altra banda, la part mecànica, en primera estància la part exterior de tots els elements era correcte, tot i que, més endavant s'hauria de treballar i fer la comprovació de tots i cadascun d'ells per descartar possibles problemes mecànics que no permetessin avançar en el desenvolupament del projecte.

Afegir que, l'ordinador dedicat a aquesta maqueta era de versió bastant antiga, la qual cosa, va ser el primer que es va procedir a canviar.

Finalment, es va procedir a donar tensió la maqueta per primera vegada i veure com reaccionava la maqueta per tal de poder observar si hi havien imperfeccions (a primera vista, la més visual va ser la detecció d'errors en el PLC) a l'hora de donar tensió i mantenir la corrent en la maqueta.

3. Parts integrants del sistema IPC-201C

A continuació, es detallen els elements més importants dels esmentats en l'apartat 2.2.

3.1. Mòduls (Dipòsits)

3.1.1. Dipòsit auxiliar d'acer

Dipòsit fabricat en acer inoxidable amb un volum de 3,12 litres. Aquest dipòsit, tal i com es visualitza a la *Figura 4*, conté una obertura a la part superior per facilitar l'ompliment.



Figura 4. Dipòsit auxiliar.

A la part inferior disposa d'un orifici d'escapament de fluid controlat a través d'una electrovàlvula de fluid de dues vies per poder realitzar el buidat de líquid de forma automatitzada.

Aquest dipòsit permet l'ompliment inicial del circuit i dels dipòsits. A més, serveix també per abocar líquids des dels altres tres dipòsits.

3.1.2. Dipòsit lateral esquerre

Existeixen dos dipòsits similars on s'emmagatzemen líquids o matèria prima. Aquests dos dipòsits són els dos dels extrems de la maqueta, és a dir, l'esquerra i el dret.

El dipòsit esquerra és un dipòsit amb un volum de 3,12 litres. A la part superior disposa de tres orificis per a dur a terme l'ompliment o pressurització d'aquest. Dos dels orificis s'utilitzen per l'ompliment i el tercer per la pressurització (veure *Figura 5*).



Figura 5. Dipòsit esquerra (Dip1).

En un d'aquests tres orificis hi ha instal·lada una clau de pas manual per poder realitzar l'ompliment de líquid (principalment aigua) de forma manual ajudant-se amb un embut o poder posar el dipòsit a pressió atmosfèrica.

En un altre orifici hi ha instal·lada una electrovàlvula de dues vies amb antiretorn per poder realitzar l'ompliment del líquid automàticament.

Per últim, en el tercer orifici hi trobem un transductor electropneumàtic de pressió (element que controla la pressió a la seva sortida proporcionalment a la senyal elèctrica de la seva entrada).

Amb aquest transductor electropneumàtic de pressió el que fem és controlar la pressió d'entrada en el dipòsit i la pressió a la que queda pressuritzat el dipòsit. El display que incorpora facilita al usuari una ràpida lectura de la pressió en temps real.

A la part inferior, disposa d'un orifici de sortida on hi trobem instal·lada un altre electrovàlvula de dues vies per poder realitzar el buidat d'una forma automatitzada.

Finalment, el dipòsit esquerra incorpora dos sensors capacitius de nivell els quals ens indicaran el nivell mínim i màxim.

3.1.3. Dipòsit central

El dipòsit central també té un volum de 3,12 litres.

Tant per l'entrada com per la sortida de fluid disposa de dos orificis a la tapa superior i inferior respectivament on es troben instal·lades dos electrovàlvules de fluids de dues vies.

Aquest dipòsit és l'únic que disposa a la part superior d'un agitador format per un eix amb una hèlice accionada per un motor de continua 24Vdc, un sensor de temperatura format per una sonda PT100 amb convertidor KD, un sensor de nivell constituït per un sensor de pressió diferencial amb display (el nivell del fluid es proporcional a la pressió en el fons que es compara amb la pressió atmosfèrica i visualitzada en temps real) i un orifici per l'entrada de pressió atmosfèrica (veure *Figura 6*).



Figura 6. Dipòsit central (Dip2).

A la tapa inferior està equipat amb un mòdul refrigerador/escalfador basat en dues cèl·lules Peltier, un radiador i un ventilador, que ens permeten escalfar o refredar el fluid a l'interior del dipòsit.

A més, incorpora dos detectors de seguretat, sensors capacitius de nivell (mínim i màxim). Quan es detecta nivell màxim, es talla l'entrada de fluid tancant l'electrovàlvula de la tapa superior.

3.1.4. Dipòsit lateral dret

Com s'ha dit anteriorment, el dipòsit lateral dret i esquerra són molt similars en característiques.

Primer de tot, el seu volum és el mateix: 3,12 litres. Aquest dipòsit, a diferència de l'altre, disposa de quatre orificis a la tapa superior per realitzar les accions d'ompliment, pressurització i mesura. Dos dels orificis s'utilitzen per l'ompliment del dipòsit, un altre per pressuritzar-lo i un quart orifici per poder realitzar la mesura de la pressió (veure *Figura 7*).

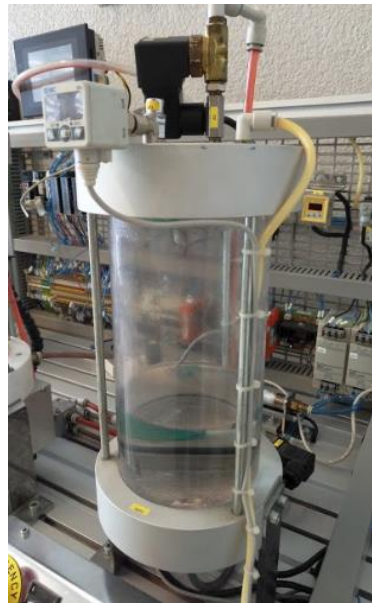


Figura 7. Dipòsit dret (Dip3).

En un dels orificis hi ha instal·lada una clau de pas manual per poder realitzar l'ompliment de líquid (aigua) de forma manual ajudant-se amb un embut o poder posar el dipòsit a pressió atmosfèrica.

En un altre orifici hi ha instal·lada una electrovàlvula de dues vies amb antiretorn per poder realitzar l'ompliment del líquid automàticament.

En el tercer dels orificis està connectada una electrovàlvula pneumàtica 3/2 monoestable (element que controla l'entrada d'aire a pressió al dipòsit segons una senyal elèctrica provinent de PLC).

En el quart i últim dels orificis es troba instal·lat un pressòstat digital de gran precisió que ens permet visualitzar la pressió d'entrada en el dipòsit dret en temps real gràcies al display que incorpora. Aquest pressòstat ens proporciona dues sortides digitals i una analògica que poden ser utilitzades per realitzar el control de pressió.

A la tapa inferior trobem un orifici de sortida on hi ha una electrovàlvula proporcional de fluids de dues vies per poder realitzar el buidat del líquid de forma automàtica i, a més, controlada.

Com els altres dos dipòsits, aquest també incorpora dos sensors capacitius que ens permeten rebre les senyals de nivell mínim i màxim.

3.2. Sensors

3.2.1. Sensors de nivell màxim i mínim (Capacitius)

Els sensors que ens permeten saber els nivells màxims i mínims dels tres dipòsits (el dipòsit auxiliar ens permet saber el seu nivell màxim per boia i el seu mínim de forma visual) són capacitius (veure *Figura 8*).



Figura 8. Sensor capacitiu de nivell.

Aquests tipus de sensors reaccionen enfront metalls, i no metalls que al aproximar-se a la superfície activa sobrepassen una determinada capacitat. La distància de connexió respecte a un determinat material es major de forma proporcional a la seva constant dielèctrica [16].

Les principals característiques d'aquest sensor són que la seva funció de commutació és normalment obert, la sortida és del tipus PNP amb una distància de commutació de mesura de 10mm. La polaritat de sortida és en CC i té una fiabilitat de commutació en un rang de 0 a 7 mm.

Les seves aplicacions són varies, però en el nostre cas els fem servir per poder saber els nivells màxims i mínims dels dipòsits de l'estació de treball. El seu funcionament en aquesta aplicació és que quan un objecte (líquid en el nostre cas) penetra en el camp elèctric que hi ha entre les plaques sensor, varia el dielèctric, variant proporcionalment el valor de la capacitat.

3.2.2. Sonda de temperatura (PT100)

La temperatura que controlarem serà la del dipòsit central a través d'una sonda de temperatura RTD (*Resistance Temperature Detector*) del tipus PT100 amb cap amplificador del tipus KD (veure *Figura 9*).



Figura 9. Sonda PT100 amb cap amplificador KD.

Aquest tipus de sondes es basen en la variació de la resistència d'un conductor amb la temperatura [27]. La variació de la resistència pot ser expressada de manera polinòmica. Per norma general, la variació és bastant lineal en amplis límits de temperatura:

$$R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

on: R es la resistència a la temperatura de referència T_0 , ΔT es la desviació de temperatura respecte a T_0 ($\Delta T = T - T_0$) i, α es el coeficient de temperatura del conductor especificat a 0° , interessa que sigui de gran valor y constant amb la temperatura.

Els materials utilitzats per la construcció de sensors RTD solen ser conductors tals com el coure, el níquel o el platí.

De tots ells el platí és el que ofereix millors prestacions, com:

- Alta resistivitat per a un mateix valor òhmic, la massa del sensor serà menor, per lo que la resposta serà més ràpida.
- Límits de temperatura més amplis.
- Alta linealitat.
- La sensibilitat (α) és menor.

La PT100 que s'utilitza en la maqueta és la més comú dintre d'aquest àmbit. Aquest tipus de sonda s'anomena així a causa de les seves prestacions, és a dir, ens permet saber que aquesta sonda RTD de platí té una resistència de 100 ohms a 0°C . A mesura

que la temperatura augmenta també augmenta la seva resistència interna d'una forma lineal.

Com s'ha comentat anteriorment, la sonda que s'utilitza en la maqueta és amb cap amplificador del tipus KD, és a dir, conté un circuit integrat el qual permet fer el canvi d'escala de variació de resistència a variació d'intensitat de 4 a 20mA per poder obtenir les mesures de temperatura en funció de la intensitat.

3.2.3. Cabalímetre

Un cabalímetre és un instrument que permet mesurar el cabal d'un fluid. En el nostre cas, el cabalímetre utilitzat és el de la sèrie PF2W per aigua (s'ha de tenir molt en compte la sèrie que estem utilitzant ja que depenent de la sèrie sabrem per quin tipus de fluid està capacitat aquell instrument). Aquests aparells es col·loquen en sèrie amb la línia de transport del fluid.



Figura 10. Cabalímetre.

Aquest tipus de cabalímetre incorpora un display digital que ens permetrà monitoritzar el cabal de l'estació. Aquest display és remot a l'aparell, o sigui, que el display no està integrat sinó que el trobem situat a la part elèctrica/electrònica.

El rang de cabal del cabalímetre incorporat en el mòdul és de 1.7 a 17.7 l/min. Incorpora dos tipus de sortides:

- Sortida per unitat de display
- Sortida analògica (4-20mA)

La detecció del cabal en aquests tipus de cabalímetre és a través dels “remolins de Karman”. Aquest nom és degut a que el seu principi de funcionament és molt similar al fenomen natural produït per un fluid en el moment d'intentar superar un obstacle a un certa velocitat (veure *Figura 11*). [5]



Figura 11. Remolins de Karman.

Quan un fluid (líquid, gas o vapor), amb una certa velocitat, troba un cos dintre d'un tub, es produeixen uns remolins que viatgen per una corrent anomenada pista de remolins Karman (veure *Figura 12*). La freqüència dels remolins es proporcional a la velocitat del flux [3].



Figura 12. Principi de funcionament "Remolins de Karman".

3.2.4. Sensor de nivell (Pressió diferencial)

El nivell que controlarem amb el sensor de pressió diferencial serà el del dipòsit central (veure *Figura 13*). Aquests tipus de sensors estan pensats per realitzar la mesura de pressió entre dos punts, de tal forma que per aquest motiu ha de tenir dues entrades de pressió [17].



Figura 13. Sensor de pressió diferencial PSE550 de SMC.

Les dues entrades de pressió convergeixen en una sortida elèctrica, emprant una lògica de comparació entre les dues pressions, de tal manera que tindrem un valor de tensió positiva segons l'increment de pressió o negatiu, segons sigui el decrement de pressió, d'una entrada respecte l'altre.

En el nostre cas, les dues entrades de pressió seran per una banda la pressió atmosfèrica i per l'altre la pressió que hi ha en el dipòsit. Inicialment, amb el dipòsit buit i no estar estanc les dues entrades de pressió tindran el mateix valor (pressió atmosfèrica) i per aquest motiu el diferencial de pressió és zero i això indica que el dipòsit és buit. Un cop el dipòsit s'ompli d'aigua la pressió variarà i aquest diferencial que crearem entre pressions permetrà saber el nivell exacte del dipòsit.

3.3. Actuadors

3.3.1. Cèl·lules Peltier

Aquestes cèl·lules són definides com un component electrònic compost per unes plaques de material semiconductor generalment tel·lur de bismut que té la propietat de generar calor o fred depenent de la polaritat que apliquem a les seves plaques (veure *Figura 14*). [6]

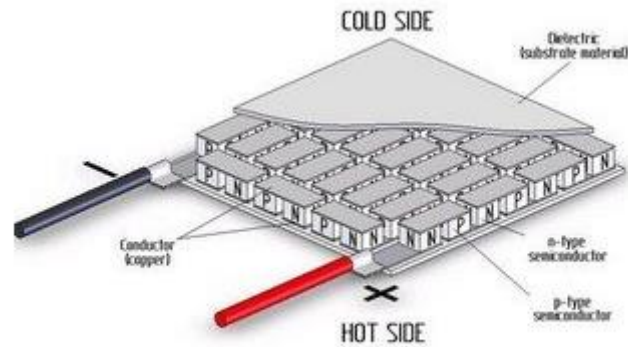


Figura 14. Model Peltier.

En el nostre cas, aquesta inversió de corrent es fa a través de dos relés (R2 i R3) així aconseguint que les cèl·lules actuïn com a refrigerador o escalfador.

Aquestes cèl·lules estan ubicades en el dipòsit de mescla (central) per tal de poder variar la temperatura de la mescla.

El conjunt sencer podríem dir que són les cèl·lules, el radiador i el ventilador. El funcionament general, per exemple, quan volem refredar la mescla, és quan apliquem alimentació en la polaritat adequada per que les cèl·lules refrigerin el dipòsit central, llavors el ventilador és l'encarregat de dissipar l'escalfor que hi ha en el ventilador i així poder refredar el dipòsit d'una manera molt més eficient.

3.3.2. Motobomba

Una motobomba és un actuator que s'utilitza en circumstàncies en les que és necessita moure aigua o algun fluid. Aquest moviment d'aigua s'aconsegueix a través del motor que impulsa la bomba.

En la maqueta trobem dues motobombes:

- Motobomba de bombeig d'aigua pel transvasament del dipòsit general al auxiliar.
- Motobomba de bombeig d'aigua per la circulació d'aigua pels tubs de l'estació.

Les dues bombes que la maqueta portava de sèrie no funcionaven. Així doncs, es va procedir a fer una sèrie de comprovacions abans de decidir canviar la bomba.

Fetes les comprovacions, es va observar que era la motobomba el que no funcionava i no un mal connexionat o algun problema similar.

Per tant, es va procedir a demanar dues bombes noves mantenint les característiques de les de sèrie per tal de no influir en el funcionament de la maqueta amb aquestes dues noves motobombes.

La motobomba de bombeig d'aigua pel transvasament del dipòsit general al auxiliar es mostra a la Figura 15, s'alimenta a 12VDC amb un consum de 20.4W.



Figura 15. Motobomba 12VDC.

En canvi, la motobomba de bombeig d'aigua per la circulació d'aigua pels tubs de l'estació s'alimenta a 24VDC i té un consum d'uns 2,5A. Aquest tipus de bombes són submergibles dissenyades per petits bombejos. Construïdes amb materials plàstics d'alta resistència i durabilitat.

El seu disseny permet treballs continuats sense que tenir que treballar d'una forma intermitent (veure Figura 16).



Figura 16. Motobomba 24VDC.

3.3.3. Electrovàlvules 24VDC

Una electrovàlvula és una vàlvula electromecànica, dissenyada per controlar el pas d'un fluid per un conducte o tub. La vàlvula es mou mitjançant una bobina solenoide. Generalment, només té dues posicions: obert i tancat (tot o res).

La maqueta disposa de 7 electrovàlvules, normalment tancades, connectades directament a les sortides digitals de PLC ja que el seu control és tot o res. Per programa decidim quan volem obrir-les.

A més, a la sortida del dipòsit dret tenim una electrovàlvula proporcional de fluids, és a dir, vàlvules en que la magnitud (pressió, caudal, etc.) es proporcional a la senyal d'entrada.

Podem classificar les principals vàlvules proporcionals:

- Vàlvules direccionals
- Vàlvules de caudal
- Vàlvules de pressió

El principal element que permet aquest tipus de us en la hidràulica és el solenoide proporcional, que es capaç de crear una força proporcional al valor de la corrent o de la tensió aplicada sobre ell.

A diferència de les electrovàlvules simples, aquestes tenen un temps de resposta molt més ràpid. És més, en moltes aplicacions on una electrovàlvula simple satisfaria la funció s'utilitza una proporcional per fer la mateixa funció de obrir o tancar però amb un temps de resposta molt més ràpid. En el nostre cas, la electrovàlvula proporcional seria de caudal ja que el que fem amb un rang de 1-5V és obrir/tancar el solenoide proporcional per deixar passar més o menys caudal depenent de la senyal d'entrada a la electrovàlvula.



Figura 17. Electrovàlvula proporcional 24VDC.

3.4. Unitat de control: CJ1M-ETN21

El mòdul IPC201-C disposa d'un autòmat programable lògic del tipus CJ1M-ETN21 de la casa Omron (veure *Figura 18*). Aquesta unitat serà la principal encarregada de l'automatització i control de l'estació de treball.



Figura 18. SYSMAC CPU11-ETN21.

En primera estància, disposava dels següents mòduls d'entrades i sortides:

- 1 Mòdul CJ1W – ID211 amb 16 entrades digitals
- 1 Mòdul CJ1W – OD212 amb 16 sortides digitals
- 1 Mòdul CJ1W – AD081 amb 8 entrades analògiques
- 1 Mòdul CJ1W – DA041 amb 4 sortides analògiques

El mòdul DA041 (Sortides analògiques) va ser eliminat de l'estació degut a que no ens proporcionava un funcionament correcte i es va substituir per una tarja de National Instruments (NI 9263).

Aquesta CPU té integrada una unitat ethernet que permet comunicar i configurar l'autòmat de manera remota o com a part de la xarxa d'àrea local de l'ordinador (LAN – *Local Network Area*). Tot i això, els problemes que va suposar fer-ho d'aquesta manera ens va fer decantar de acabar procedint a fer la interconnexió entre PLC i PC a través del cable sèrie (RS-232) a través de la configuració per IP.

La font d'alimentació és la CJ1W-PA202, una alimentació monofàsica a 220VAC (veure *Figura 19*).



Figura 19. Font d'alimentació PA202.

3.4.1. Unitat d'entrades digitals: ID211

L'alimentació d'aquest mòdul de 16 entrades digitals és a 24VDC (veure *Figura 20*). Els sensors connectats en aquest mòdul són els que a la sortida donen una senyal tot o res (1 o 0), és a dir, el PLC sempre rebrà la senyal dels sensors connectats a aquest.



Figura 20. Mòdul ID211.

El rang que anomenaríem com a rang d'activació és:

Voltatge activació (Lectura d'un 1)	14.4 VDC
Voltatge desactivació (Lectura d'un 0)	5VDC

El diagrama de connexions d'aquest mòdul es mostra a la *Figura 21*.

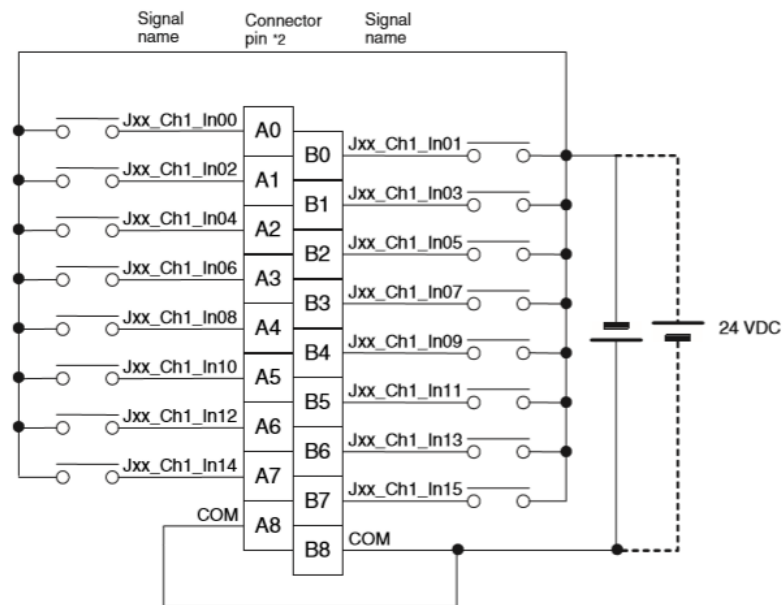


Figura 21. Connexions de la unitat ID211.

3.4.2. Unitat de sortides digitals: OD212

L'alimentació d'aquest mòdul de 16 sortides digitals és a 24VDC (veure *Figura 22*). Els actuadors connectats en aquest mòdul són els que han de rebre una senyal tot o res (1 o 0), és a dir, el PLC serà l'encarregat de donar una senyal de 1 o 0 als actuadors connectats a les respectives sortides.



Figura 22. Mòdul OD212.

El diagrama de connexions d'aquest mòdul es mostra a la *Figura 23*.

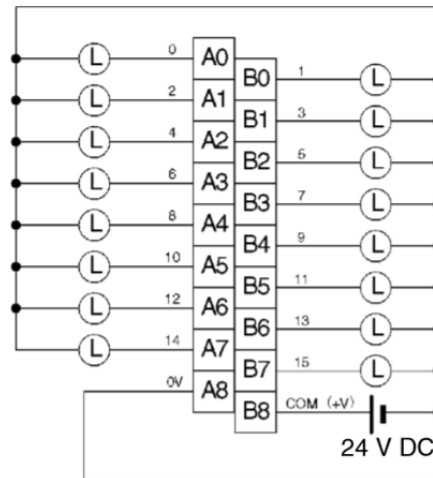


Figura 23. Connexions de la unitat OD212.

3.4.3. Unitat d'entrades analògiques: AD081

En aquests mòduls s'han d'habilitar els punts d'entrada que volem utilitzar posant-los a 1 (per defecte estan tots deshabilitats).

Aquests mòduls efectuen la lectura i la conversió de les entrades analògiques, és a dir, el mòdul rep la informació de les senyals analògiques les quals són enviades a la unitat central i son transformades en sistema binari de 16 bits. Aquestes dades després les podrem tractar de la manera que nosaltres preferim per tal de visualitzar-les en el format adequat (veure *Figura 24*).



Figura 24. Mòdul AD081.

Aquest mòdul té 8 punts amb un rang de senyal de -10 a +10V, 0 a 10V, 0 a 5V i 1 a 5V.

Especialment, per aquest mòdul, necessitem seleccionar si l'entrada és de corrent o tensió amb el switch de la part posterior del bloc de terminals de la tarja d'entrades analògiques (veure *Figura 25*).

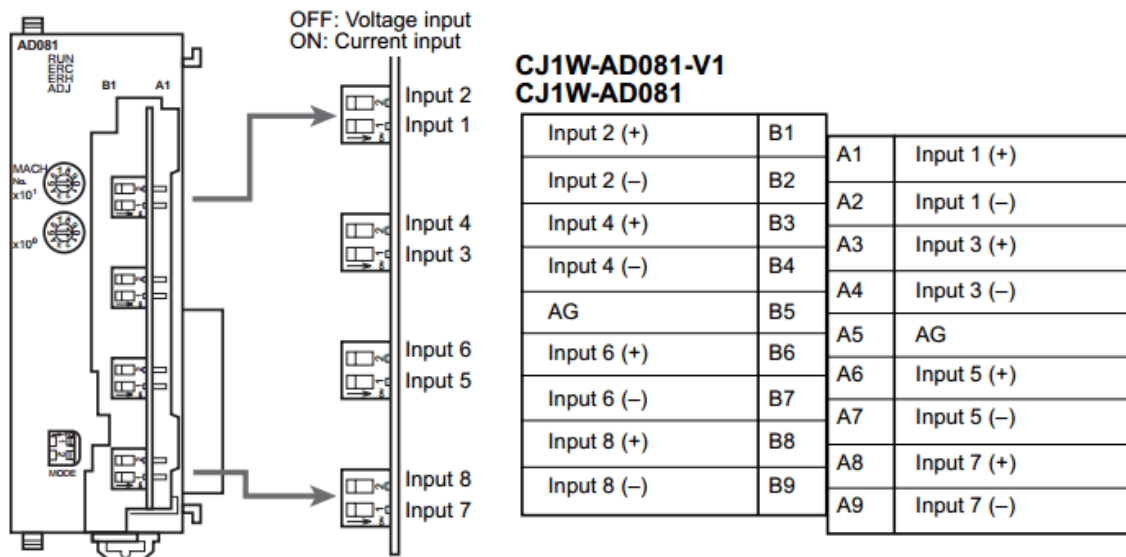


Figura 25. Switch de tensió/corrent i diagrama de connexions del mòdul AD081.

Com s'ha comentat al inici d'aquest capítol, per defecte tots els punts d'entrada estan deshabilitats i és per això que primer s'ha de realitzar la configuració del mòdul.

El procés de configuració és el següent: [13]

- Seleccionem el switch de tensió/corrent depenent l'entrada que tenim.
- Seleccionar el número d'unitat de la tarja en els switch de la part frontal de número d'unitat.
- Cablejar entrades que s'utilitzaran.
- Aplicar alimentació al PLC.
- Configurar els DM's assignats segons es mostra en la *Figura 26* i *Figura 27*.

El mòdul d'entrades AD081 té assignats 10 canals d'entrades (del canal n a $n+9$) segons les fórmules:

$$n = CIO2000 + (n \cdot 10) \quad \text{on } n \text{ es el } n^{\circ} \text{ d'unitat (de 0 a 95)}$$

En el nostre cas, la unitat és la 0. Així doncs, els canals que podrem utilitzar per les nostres entrades seran:

$$n = CIO2000 + (0 \cdot 10) = CIO2000$$

Un cop sabem el canal CIO, es poden llegir les entrades analògiques convertides en els canals CIO (n+1) per a l'entrada 1 fins el CIO (n+8) per a l'entrada 8, en format binari de 16 bits, és a dir, els canals on tindrem els valors seran:

$$(n + 1) = CIO2001 \rightarrow (n + 8) = CIO2008$$

Al mateix temps, per la configuració dels punts a utilitzar, al mòdul se li assigna també 10 DM's (del DM m al $m+9$) segons:

$$DM\ m = DM20000 + (m \cdot 100) \quad \text{on } m \text{ es el n}^\circ \text{ d'unitat (de 0 a 95)}$$

Al ser la 0 la nostra unitat tenim que:

$$DM\ m = DM20000 + (0 \cdot 100) = DM20000$$

$$(m + 1) = DM20001 \rightarrow (m + 8) = DM20008$$

CJ1W-AD081-V1/ CJ1W-AD081

DM	Bits															
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
D(m)	No utilizado.								Entradas utilizadas							
									E 8	E 7	E 6	E 5	E 4	E 3	E 2	E 1
D(m + 1)	Rango de la señal de entrada															
	E 8		E 7		E 6		E 5		E 4		E 3		E 2		E 1	
D(m + 2)	Entrada 1: configuración de la función de valor medio.															
D(m + 3)	Entrada 2: configuración de la función de valor medio.															
D(m + 4)	Entrada 3: configuración de la función de valor medio.															
D(m + 5)	Entrada 4: configuración de la función de valor medio.															
D(m + 6)	Entrada 5: configuración de la función de valor medio.															
D(m + 7)	Entrada 6: configuración de la función de valor medio.															
D(m + 8)	Entrada 7: configuración de la función de valor medio.															
D(m + 9)	Entrada 8: configuración de la función de valor medio.															
D(m+10) a D(m+17)	No utilizado. La configuración de esta área será ignorada.															
D(m + 18) (Nota 1)	Tiempo de conversión / resolución: 00: Tiempo de conversión de 1ms y resolución de 4000. C1: Tiempo de conversión de 250µs y resolución de 8000.								Modo de operación: 00: Modo Normal. C1: Modo de Ajuste.							

Figura 26. Llistat de DM's configurables.

Entrada	Entrada utilizada	0: Entrada no utilizada 1: Entrada utilizada
	Rango de la señal de entrada	00: -10 a 10V 01: 0 a 10V 10: 1 a 5V/4 a 20mA (Nota 1) 11: 0 a 5V

Figura 27. Valors per configurar les entrades analògiques.

- Per últim, es treu i es dona corrent al PLC o posar a ON el bit de reinici del mòdul per permetre al PLC que es configuri amb els nous paràmetres seleccionats.

3.4.4. Unitat inicial de sortides analògiques: DA041

En aquests mòduls s'han d'habilitar els punts de sortida que volem utilitzar posant-los a 1 (per defecte estan tots deshabilitats). El diagrama de connexions d'aquest mòdul té l'estructura de la *Figura 28*.

Aquests mòduls efectuen els canvis físics dels actuadors, és a dir, el mòdul rep la informació de les senyals analògiques les quals són enviades a la unitat central i son transformades en sistema binari de 16 bits, de tal manera que depenent dels valors de les senyals d'entrada per programa definim el valor que ha de tenir cada sortida analògica.

Voltage output 2 (+)	B1	A1	Voltage output 1 (+)
Output 2 (-)	B2	A2	Output 1 (-)
Current output 2 (+)	B3	A3	Current output 1 (+)
Voltage output 4 (+)	B4	A4	Voltage output 3 (+)
Output 4 (-)	B5	A5	Output 3 (-)
Current output 4 (+)	B6	A6	Current output 3 (+)
N.C.	B7	A7	N.C.
N.C.	B8	A8	N.C.
0 V	B9	A9	24 V

Figura 28. Diagrama de connexions del mòdul de sortides DA041.

Al venir per defecte totes les sortides deshabilitades, el que s'ha de fer es configurar el mòdul perquè sàpiga quins actuadors té connectats i quines senyals necessita.

En els mòduls DA041 podem connectar-hi quatre sortides analògiques amb un rang de senyal de sortida com el que hi ha a la *Figura 30*.

El procés de configuració del mòdul és exactament el mateix que el del mòdul d'entrada (Veure apartat 3.4.3) excepte que en aquest no hem de seleccionar a través de cap switch si l'actuador treballa a corrent o tensió ja que tenim el contacte de corrent i el de voltatge. Tot i això, es mostrarà quins canals i quines memòries necessita aquest mòdul de sortides.

Aquest mòdul DA041 té assignats 4 canals de sortides (del canal n a $n+3$) segons les fórmules:

$$n = \text{CIO2000} + (n \cdot 10) \quad \text{on } n \text{ es el n}^\circ \text{ d'unitat (de 0 a 95)}$$

En el nostre cas, la unitat és la 1. Així doncs, els canals que podrem utilitzar per les nostres sortides seran:

$$n = \text{CIO2000} + (1 \cdot 10) = \text{CIO2010}$$

Un cop sabem el canal CIO de les sortides analògiques convertides en els canals CIO (n+1) per a la sortida 1 fins el CIO (n+4) per la sortida 4, en format binari de 16 bits, és a dir, els canals on tindrem els valors seran:

$$(n + 1) = \text{CIO2011} \rightarrow (n + 4) = \text{CIO2014}$$

Al mateix temps, per la configuració dels punts a utilitzar, al mòdul se li assigna també 4 DM's (del DM m al $m+3$) segons:

$$\text{DM } m = \text{DM20000} + (m \cdot 100) \quad \text{on } m \text{ es el n}^\circ \text{ d'unitat (de 0 a 95)}$$

Al ser la 1 la nostra unitat tenim que:

$$\text{DM } m = \text{DM20000} + (1 \cdot 100) = \text{DM20100}$$

En aquest mòdul després d'escriure la dada a convertir en el canal, per iniciar la conversió s'ha de posar a 1 el bit corresponent en el canal DM (m) (veure *Figura 29*Figura 29. Llistat de DM's configurables (sortides).

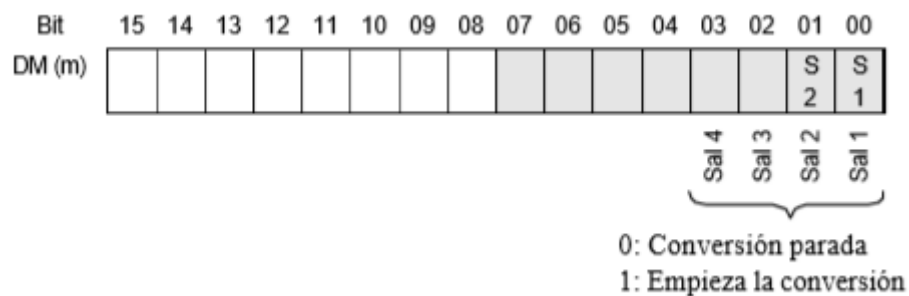


Figura 29. Llistat de DM's configurables (sortides).

Salida	Salida utilizada	0: Salida no utilizada 1: Salida utilizada
	Rango de la señal de salida	00: -10 a 10V 01: 0 a 10V 10: 1 a 5V/4 a 20mA (Nota 1) 11: 0 a 5V
	Estado de la salida cuando está parada la conversión.	00: CLR Salida a 0 o al mínimo valor de cada rango. (Nota 1) 01: HOLD Retiene el valor de salida anterior a la parada. 02: MAX Valor máximo del rango de salida.

Figura 30. Valors per configurar les sortides analògiques.

Tot i això, aquest mòdul s'ha explicat ja que es va mirar de fer servir aquest per poder fer el control dels diferents actuadors que la maqueta proporciona, però, com ja s'ha comentat, el funcionament d'aquest no era el correcte i això va suposar tenir que buscar una solució per poder activar les sortides analògiques, la qual cosa va fer decantar per una tarja d'adquisició de National Instruments (NI 9263) explicada posteriorment en l'apartat 3.5.2.

3.5. Altres dispositius

3.5.1. Grup de tractament d'aire

L'estació de pressió disposa d'una unitat de manteniment pneumàtic constituïda per un filtre que neteja l'aire de l'entrada general d'impureses, un regulador de pressió que limita la pressió de treball de l'estació i un manòmetre que visualitza la pressió (veure *Figura 31*).



Figura 31. Grup tractament d'aire.

El subministrament d'aire cap a l'estació es fa manualment a través d'una clau de pas i amb el regulador tarem la pressió d'entrada la qual abans de pressuritzar el dipòsit de l'esquerra passarà per un transductor ITV1000 de pressió per tal de regular la pressió.

Per pressuritzar el dipòsit dret, hi ha una electrovàlvula monoestable 3/2 la qual activem de forma digital així deixant passar la pressió cap aquest dipòsit.

Com s'ha comentat, el transductor ITV1000 és l'encarregat de regular la pressió després de l'estació de pressió (veure *Figura 32*).



Figura 32. Transductor de pressió ITV1000.

Aquests transductors converteixen la pressió en una senyal elèctrica analògica. Aquesta conversió s'aconsegueix mitjançant la deformació física dels extensòmetres que estan units al diafragma del transductor i cablejats en una configuració de pont de Wheatstone (veure *Figura 33*).

La pressió aplicada al sensor produeix una deflexió del diafragma, que introdueix la deformació als medidors. La deformació produirà un canvi de resistència elèctrica proporcional a la pressió.

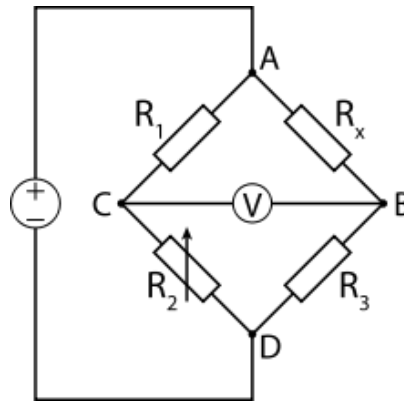


Figura 33. Pont de Wheatstone.

3.5.2. Unitat final de sortides analògiques: NI 9263

El mòdul NI 9263 té 10 terminals de cargol desmuntables formant un connector que permet la connexió de 4 sortides analògiques (veure *Figura 34*).

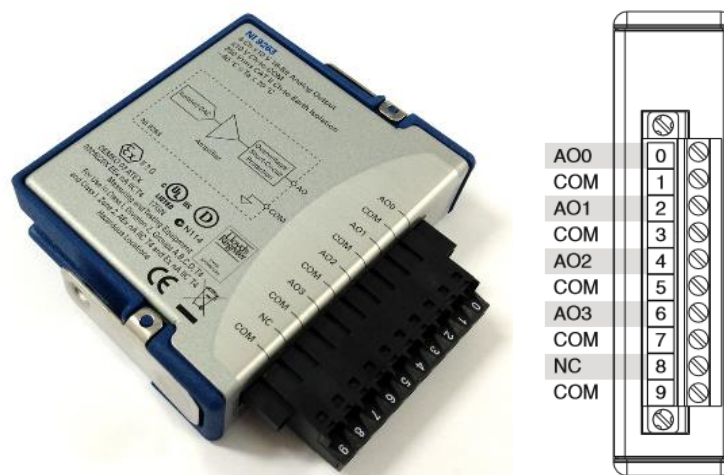


Figura 34. Assignacions dels terminals NI 9263.

Cada canal del mòdul NI 9263 disposa d'un terminal AO on pots connectar el positiu de la càrrega a connectar. Disposa del terminal comú (COM) a més de disposar d'un terminal COM addicional a la part inferior del connector. Totes els terminals COM estan internament connectats al terra del mòdul [9].

Quan es connecta una càrrega al mòdul s'ha de connectar el terminal positiu de la càrrega al terminal AO i el negatiu a terres (COM), com s'observa a la *Figura 35*.

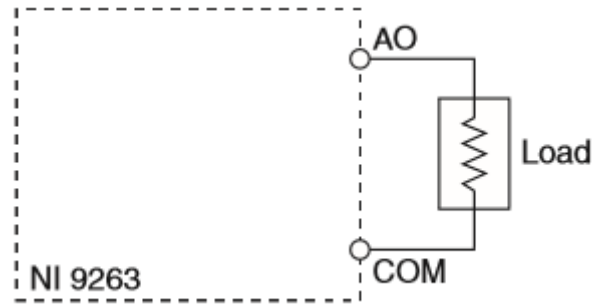


Figura 35. Connexió d'una càrrega al mòdul NI 9263.

Cadascun dels canals conté un convertidor digital a analògic (DAC) que produeix una senyal de voltatge. Després d'aquest convertidor el que trobem és la protecció de sobrevoltatges o curtcircuit (veure Figura 36).

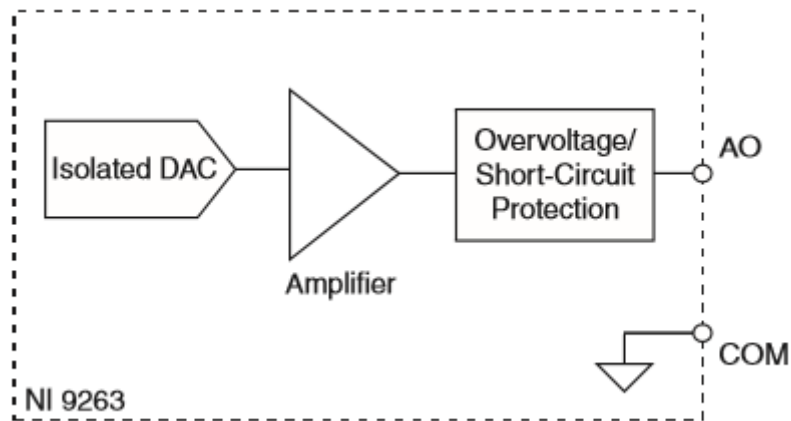


Figura 36. Circuit intern dels canals de NI 9263.

Aquest mòdul conté 4 canals de sortides analògiques amb una resolució de 16 bits (resolució del DAC). Per defecte, l'estat dels canals és OFF i el rang de les sortides només és de voltatge, concretament, de -10 a +10V.

La interconnexió entre el mòdul i l'ordinador és fa a través d'USB. Per poder connectar-ho mitjançant USB és necessita una adaptador com el de la Figura 37.



Figura 37. Hi-Speed USB Carrier NI USB-9162.

Aquest mòdul només permet sortides analògiques de voltatge la qual cosa tots els actuadors que treballin amb un rang de senyal de corrent 4-20mA no podran connectar-se. Això suposa una limitació en el projecte ja que a el mòdul comentat en l'apartat 3.4.4 ens hagués permès una fàcil programació a l'hora de crear una aplicació totalment automàtica en l'estació de treball IPC201-C.

Tot i això, s'han buscat diverses solucions per poder presentar una petita aplicació i poder mostrar com el control i el monitoratge per SCADA funciona, ja que era el principal objectiu la creació d'una interfície HMI per poder controlar l'estació i sobretot poder veure la informació a temps real dels estats de tots els sensors i actuadors que la maqueta conté.

3.5.3. Regulador de CC PWM

Alguns dels elements de l'estació de treball necessiten ser adaptades per poder oferir un funcionament correcte a l'hora de treballar.

Per aquest motiu, disposem dels reguladors Cebek R-25 els quals són els encarregats de controlar la velocitat de la motobomba que bombeja el fluid pel circuit hidràulic (PWM1) i les cèl·lules Peltier (PWM2).

Les senyals PWM (*Pulse Width Modulation*) són les que ens permeten produir el efecte d'una senyal analògica sobre una càrrega, a partir de la variació de freqüència i cicle de treball d'un senyal digital.

Aquests reguladors permeten dues maneres de regulació:

- Mitjançant potenciòmetre
- Per senyal de control de 0 a 10V.

Per seleccionar quin mode de regulació farem servir cal tenir el jumper JP ben col·locat per la seva regulació. A la *Figura 38* es poden veure les dues posicions.

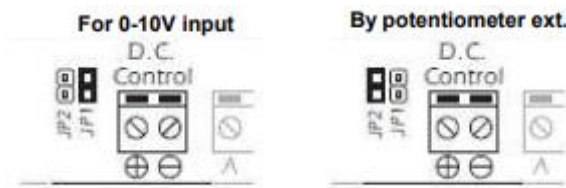


Figura 38. Jumper JB per la selecció del mode regulació.

Seguint l'esquema de la *Figura 38* podem observar com connectar els nostres actuadors per poder controlar-los de 0 a 10V.

A l'entrada de la placa el que tenim és l'alimentació a 24VDC i a la sortida hi trobaríem la càrrega, és a dir, els actuadors esmentats.

Per programa el que fem es donar a l'entrada de control una senyal de 0-10VDC la qual cosa permetrà que la corrent variï proporcionalment a la sortida.

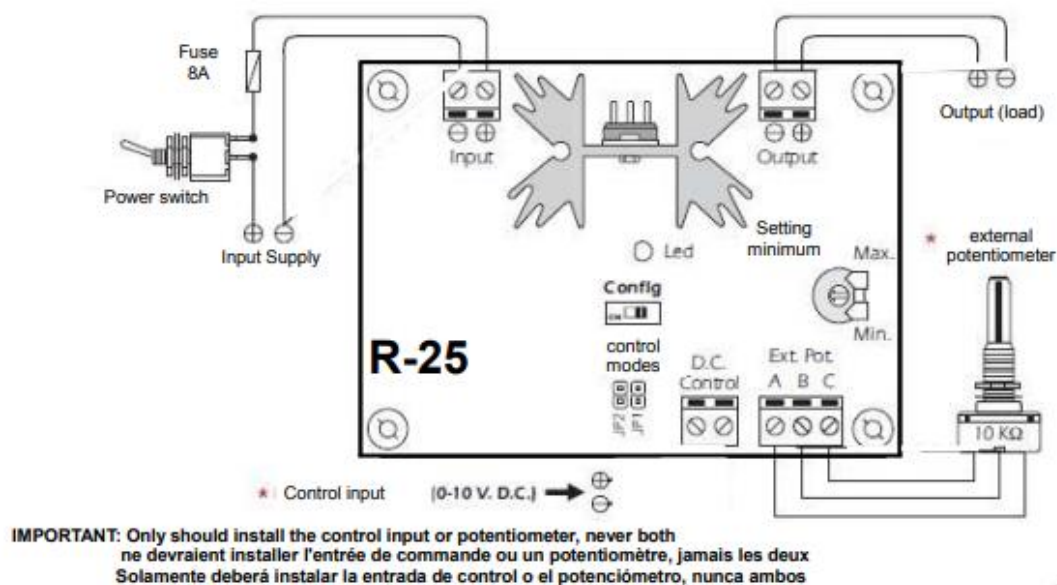


Figura 39. Esquema connexionament regulador Cebek R-25.

3.5.4. Adaptadors de corrent / tensió

Els adaptadors de corrent/tensió són els encarregats de transformar les senyals de sortida dels controladors E5CN de 4-20mA a 0-10V.

Aquesta conversió és dur a terme perquè la senyal de sortida després de passar per l'adaptador va cablejada al regulador Cebek R-25, la qual cosa ens permetrà controlar

la velocitat de la motobomba o la temperatura de les cèl·lules Peltier a través de les sortides analògiques de PLC (Tarja de National Instruments) o per mitjà dels reguladors E5CN.

En el nostre cas, la sortida sempre vindrà donada per la tarja NI 9263.

3.5.5. Fonts d'alimentació

Les fonts d'alimentació són les encarregades d'alimentar els diferents elements de l'estació de treball. La seva principal funció és la de transformar els 220VAC de la xarxa als 24VDC de treball de l'estació.

Les fonts d'alimentació que s'han utilitzat són les Omron S8VS-12024 (120W) i la S8VS-06024 (60W). En conclusió, 3 fonts de 120W i 1 fonts de 60W (veure *Figura 40*).



Figura 40. Font d'alimentació OMRON.

La font d'alimentació de potència 60W, és l'encarregada d'alimentar al regulador PWM1 (Regulador motobomba).

Les altres tres fonts de potència 120W, dues d'elles estan connectades en paral·lel per obtenir més potència (240W) en la sortida amb una entrada constant. Aquesta font d'alimentació de 240W (120W+120W) és l'encarregada d'alimentar al PWM2 (Cèl·lules Peltier). Això és degut a que el consum de cadascuna de les cèl·lules és de 73W (25°C), per tant, el consum total a temperatura ambient és de $2 \times 73W = 146W$.

Per últim, la quarta font d'alimentació (120W) és l'encarregada d'alimentar tota la resta de components de l'estació de treball.

3.5.6. Botonera

Una botonera és un conjunt de botons o interruptors que, un cop instal·lats dintre d'una màquina permet tenir un fàcil accés i vista general dels modes que modifiquen el comportament dels processos mitjançant l'enviament d'un senyal, generalment elèctric, i accionen o desactiven diferents components (veure *Figura 41*).

En el nostre cas, la botonera la qual disposa la maqueta és la següent:



Figura 41. Botonera.

Aquesta botonera com és pot observar a la *Figura 41* consta d'un pulsador de marxa (verd), un pulsador d'aturada (vermell), un pulsador de reset (blau) i un pulsador d'enclavament de bolet (encarregat de tallar l'alimentació de tot) i dos selectores de dues posicions: un d'ells per donar/treure corrent i l'altre per seleccionar si treballem amb el PLC o els controladors E5CN (aquest últim serà sempre constant al mode PLC).

A més, es disposa d'un LED d'alarmes de color vermell el qual ens avisa de si hi ha cap mena de error en el procés.

Més endavant, s'explicarà com s'ha configurat la botonera des de programa, ja que en aquest capítol és defineix com ve donada de fàbrica.

4. Esquemes i posta a punt de l'estació

4.1. Esquema electrò-pneumàtic

A continuació, en la *Figura 42* s'adjunta l'esquema que SMC ha facilitat per tal de saber amb total certesa les connexions hidràuliques i pneumàtiques [19].

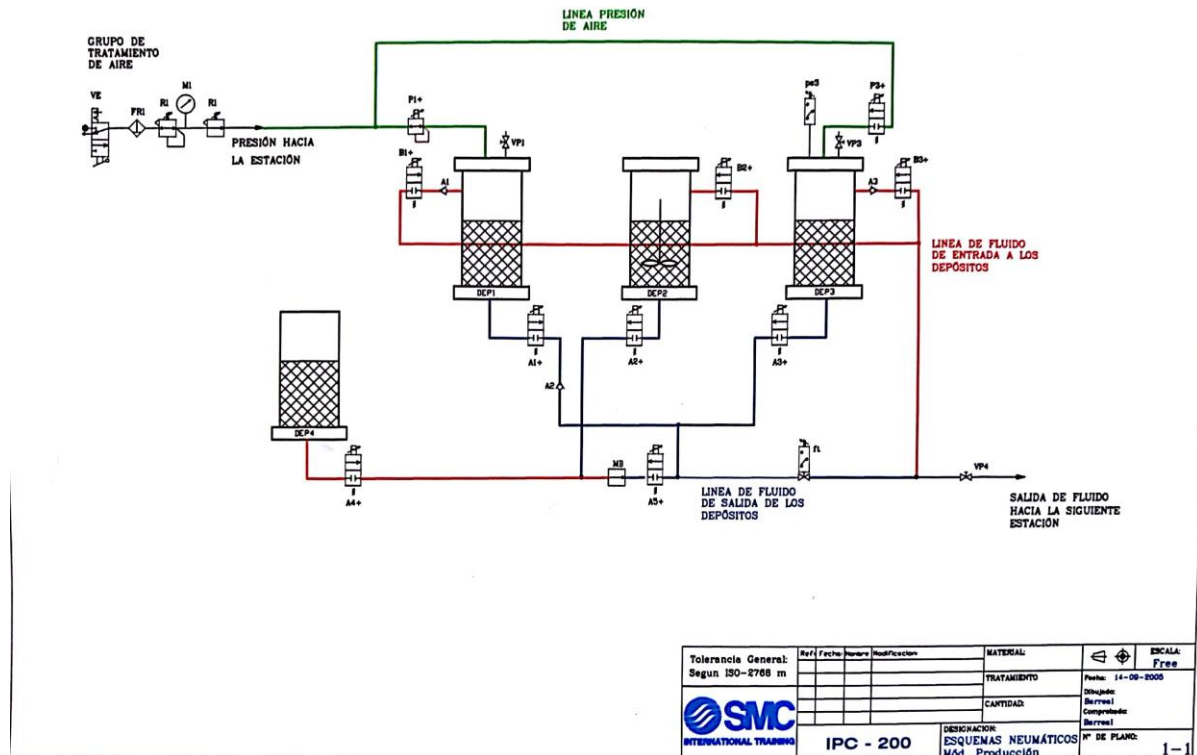


Figura 42. Esquema electropneumàtic de l'estació IPC201C.

Els diversos colors de les línies ens permeten saber d'una manera molt visual per a què serveix cada línia:

- Línia Verda: és la línia de pressió d'aire.
- Línia Vermella: és la línia d'entrada d'aigua als dipòsits.
- Línia Blava: és la línia de sortida d'aigua als dipòsits.

Per començar a tenir clar com funciona la maqueta explicarem com s'han de controlar els actuadors per tal de arribar a obtenir els resultats desitjats.

- **Omplir dipòsit esquerra:** Per omplir el dipòsit esquerra des del dipòsit auxiliar el que s'ha de fer es obrir el camí dels següents actuadors:
 - A4+, Motobomba, A5+,B1+

- **Omplir dipòsit dret:** En aquest cas, per omplir el dipòsit dret s'ha d'obrir els següents actuadors:
 - A4+, Motobomba, A5+, B3+
- **Transvasament del dipòsit esquerre al central:** Per fer els transvasaments el que serà necessari a part dels actuadors, serà l'estació de pressió. S'ha de seguir els següents passos:
 - Activar P1+, obrir A1+ i B2+ (Tenir tancat VP1 – Vàlvula de pas manual)
- **Transvasament del dipòsit dret al central:** Per fer aquest transvasament també serà necessari a part dels actuadors, l'estació de pressió. S'ha de seguir els següents passos:
 - Tenir actiu P1+, activar P3+, obrir A3+ i B2+ (Tenir tancat VP1 i VP3 – Vàlvules de pas manual)
- **Buidat:** Per fer el buidat del dipòsit central el que s'ha d'obrir els següents actuadors:
 - A2+, Motobomba, A5+ i VP4 (Vàlvula de pas manual)

4.2. Esquema elèctric

En aquest apartat ens centrarem en mostrar totes les taules d'entrades i sortides cap a PLC (*Taula 1 a Taula 3*) i la tarja de National Instruments NI 9263 (*Taula 4*).

També s'incorporaran totes les direccions utilitzades per la interfície HMI, així com també les memòries utilitzades.

En resum, s'incorporen tots els esquemes elèctrics.

Taula 1. Connexions del mòdul d'entrades lògiques ID211 amb els elements de la maqueta

IPC201-C - MÒDUL D'ENTRADES DIGITALS ID211					
DIRECCIÓ	NOM	TIPUS	UBICACIÓ DE RACK	US	DESCRIPCIÓ
0.00	Start	N.O	Bastidor principal: Espai 01	Entrada	Polsador marxa
0.01	Stop	N.O	Bastidor principal: Espai 01	Entrada	Polsador paro
0.02	I_II	Conmutador	Bastidor principal: Espai 01	Entrada	Selector I_II
0.03	Reset	N.O	Bastidor principal: Espai 01	Entrada	Polsador reset
0.04	max1	Detector capacitiu 3 fils PNP	Bastidor principal: Espai 01	Entrada	Nivell màxim dipòsit esquerre
0.05	min1	Detector capacitiu 3 fils PNP	Bastidor principal: Espai 01	Entrada	Nivell mínim dipòsit esquerre
0.06	max2	Detector capacitiu 3 fils PNP	Bastidor principal: Espai 01	Entrada	Nivell màxim dipòsit central
0.07	min2	Detector capacitiu 3 fils PNP	Bastidor principal: Espai 01	Entrada	Nivell mínim dipòsit central
0.08	max3	Detector capacitiu 3 fils PNP	Bastidor principal: Espai 01	Entrada	Nivell màxim dipòsit dret
0.09	min3	Detector capacitiu 3 fils PNP	Bastidor principal: Espai 01	Entrada	Nivell mínim dipòsit dret
0.10	ps3_1	Presostat PNP	Bastidor principal: Espai 01	Entrada	Presostat dipòsit dret sortida digital 1
0.11	ps3_2	Presostat PNP	Bastidor principal: Espai 01	Entrada	Presostat dipòsit dret sortida digital 2
0.12	pscentral_out1	Presostat PNP	Bastidor principal: Espai 01	Entrada	Presostat dipòsit central sortida digital 1
0.13	pscentral_out2	Presostat PNP	Bastidor principal: Espai 01	Entrada	Presostat dipòsit central sortida digital 2
0.14	discaudal_out1	Cabalímetre PNP	Bastidor principal: Espai 01	Entrada	Display cabalímetre sortida digital 1
0.15	discaudal_out2	Cabalímetre PNP	Bastidor principal: Espai 01	Entrada	Display cabalímetre sortida digital 2

Taula 2. Connexions del mòdul de sortides lògiques OD212 amb els elements de la maqueta

IPC201-C - MÒDUL DE SORTIDES DIGITALS OD212					
DIRECCIÓ	NOM	TIPUS	UBICACIÓ DE RACK	US	DESCRIPCIÓ
1.00	EV_OutDipAux	EV fluids monoestable	Bastidor principal: Espai 02	Sortida	EV A4+ Sortida dipòsit auxiliar
1.01	EV_OutDipEsq	EV fluids monoestable	Bastidor principal: Espai 02	Sortida	EV A1+ Sortida dipòsit esquerre
1.02	EV_InDipEsq	EV fluids monoestable	Bastidor principal: Espai 02	Sortida	EV B1+ Entrada dipòsit esquerre
1.03	EV_OutDipCentral	EV fluids monoestable	Bastidor principal: Espai 02	Sortida	EV A2+ Sortida dipòsit central
1.04	EV_InDipCentral	EV fluids monoestable	Bastidor principal: Espai 02	Sortida	EV B2+ Entrada dipòsit central
1.05	EV_InPressureDipDret	EV pneumàtica monoestable	Bastidor principal: Espai 02	Sortida	EV P3+ Entrada pressió dipòsit dret
1.06	EV_InDipDret	EV fluids monoestable	Bastidor principal: Espai 02	Sortida	EV B3+ Entrada dipòsit dret
1.07	Red_light	Pilot lluminós	Bastidor principal: Espai 02	Sortida	LED Alarmes
1.08	Vent_Peltier	Motor DC	Bastidor principal: Espai 02	Sortida	Ventilador
1.09	InSensors	Relé	Bastidor principal: Espai 02	Sortida	PLC / E5CNH Sensors inputs
1.10	PLC_Reg_0	Relé	Bastidor principal: Espai 02	Sortida	PLC / Regulador 0 AV/M
1.11	PLC_Reg_1	Relé	Bastidor principal: Espai 02	Sortida	PLC / Regulador 1 ITV
1.12	Agitador	Relé	Bastidor principal: Espai 02	Sortida	Agitador dipòsit central
1.13			Bastidor principal: Espai 02	Sortida	
1.14	PLC_Reg_2	Relé	Bastidor principal: Espai 02	Sortida	PLC / Regulador 2 Flow/Level
1.15	EV_OutMB	EV fluids monoestable	Bastidor principal: Espai 02	Sortida	EV A5+ Sortida Motobomba

Taula 3. Connexions del mòdul d'entrades analògiques AD081 amb els elements de la maqueta

IPC201-C - MÒDUL D'ENTRADES ANALÒGIQUES AD081					
DIRECCIÓ	NOM	TIPUS	UBICACIÓ DE RACK	US	DESCRIPCIÓ
2001	PT100	Senyal analògica 4-20mA	Bastidor principal: Espai 03	Entrada	Sensor de temperatura PT100
2002	dis2	Senyal analògica 4-20mA	Bastidor principal: Espai 03	Entrada	Display cabalímetre
2003	ps2	Senyal analògica 1-5V	Bastidor principal: Espai 03	Entrada	Pressostat nivel dipòsit central
2004			Bastidor principal: Espai 03	Entrada	
2005			Bastidor principal: Espai 03	Entrada	Pressostat dipòsit esquerra
2006	ps3	Senyal analògica 1-5V	Bastidor principal: Espai 03	Entrada	
2007			Bastidor principal: Espai 03	Entrada	Pressostat dipòsit dret
2008			Bastidor principal: Espai 03	Entrada	

Taula 4. Connexions del mòdul de sortides analògiques NI9263 amb els elements de la maqueta

IPC201-C - MÒDUL DE SORTIDES ANALÒGIQUES NI 9263					
DIRECCIÓ	NOM	TIPUS	UBICACIÓ DE RACK	US	DESCRIPCIÓ
AO0	GND	Senyal analògica 0-10V	Mòdul NI 9263	Sortida	Motobomba
COM		Negatiu comú	Mòdul NI 9263	-	
AO1	GND	Senyal analògica 0-10V	Mòdul NI 9263	Sortida	EV A3+ Proporcional
COM		Negatiu comú	Mòdul NI 9263	-	
AO2	GND	Senyal analògica 0-10V	Mòdul NI 9263	Sortida	
COM		Negatiu comú	Mòdul NI 9263	-	
AO3	GND	Senyal analògica 0-10V	Mòdul NI 9263	Sortida	
COM		Negatiu comú	Mòdul NI 9263	-	
NC	-	-	Mòdul NI 9263	-	
COM	GND	Negatiu comú	Mòdul NI 9263	-	

4.3. Posta a punt de l'estació

En l'apartat 2.3, s'explica l'estat actual de l'estació de treball en el moment de consolidar que aquesta seria la que s'utilitzaria per aquest projecte. D'aquesta manera prenem com a punt de referència aquest apartat ja que està estretament relacionat amb aquest, és a dir, la posta a punt de la maqueta.

L'estació de treball a primera vista semblava trobar-se en un correcte estat. El primer que s'havia de fer era una inspecció molt general de tota l'estació per ja començar a descartar possibles problemes.

Així doncs, el primer que es dur a terme és la neteja general de la maqueta per la seva inutilització durant diversos anys.

Un cop la maqueta estava neta, es va procedir a la desconexió del bus d'entrades i sortides degut a que aquestes connexions no estaven documentades enlloc i, per tant, es va decidir connectar tot directament a l'autòmat tenint el suport de la documentació proporcionada per SMC (Veure apartat 4.2).

A més, es va demanar si era possible canviar l'ordinador ja que la versió que contenia era molt vella. Dies després la maqueta ja disposava d'un nou ordinador per poder treballar.

Durant els primers dies, es va estar parlant de mirar de substituir l'autòmat que la maqueta incorpora (OMRON) per les noves sèries d'aquesta mateixa marca (NJ Series) perquè un cop donada la tensió a l'estació, l'autòmat programable donava greus problemes en el moment de connectar-lo amb l'ordinador via Ethernet i ens mantenia un LED ERC encès fent entendre que la CPU tenia un problema. Finalment, aquesta proposta es va tirar enrere i es va decidir seguir amb la sèrie CJ ja que es va aconseguir eliminar l'error de la CPU i connectar via Port Sèrie.

A més, també es va parlar sobre el canvi cap a un sistema obert de PLCs que actualment està a l'abast. Són computadors petits amb perifèrics de codi obert els quals permeten resoldre diverses tasques de control i automatització.

La connexió Sèrie va permetre interconnectar amb l'ordinador, tot i que, al no connectar-lo via Ethernet ha sigut un problema per poder treballar paral·lelament amb l'autòmat online i LabView. Això ha estat degut al fet de compartir port COM de l'ordinador, però no ha estat un problema que no permetés seguir endavant amb el projecte, tot i que, hagués estat molt més eficient un treball paral·lel per poder veure errors en la

programació o de comunicació entre el software de OMRON (CX-Programmer) i el software de National Instruments (LabView).

Més endavant, quan la maqueta ja tenia tensió i s'enviaven programes "test" a l'autòmat es van observar una sèrie d'anomalies i, per tant, es va centrar el temps en trobar totes aquestes anomalies per tal de poder treballar correctament en un futur.

Algunes de les alimentacions de les electrovàlvules no eren correctes ja que es van revisar amb el multímetre. Així doncs, es van anar seguint les connexions amb els esquemes proporcionats per SMC per tal de trobar en quin punt es trobava la pèrdua de voltatge. La caixa de generació d'averies va ser on es trobava l'anomalia de tal manera que es va procedir a fer "ponts" en els seus terminals. Al veure que el seu estat no era el 100% funcional es va decidir no fer-la servir i, per tant, modificar-la i poder treballar bé deixant de banda la caixa de generació d'averies.

Els terminals en els quals s'hi troba un "pont" són:

- Unió entre els pins 3-4
- Unió entre els pins 5-6



Figura 43. Caixa de generació d'averies (Troub-200).

D'altra banda, un altre de les modificacions dutes a terme per tal de posar a punt l'estació de treball ha estat el canvi de connexió d'alguns dels relés que la maqueta incorpora, en concret, els relés identificats com a R13, R14 i R15 (veure *Figura 44*).

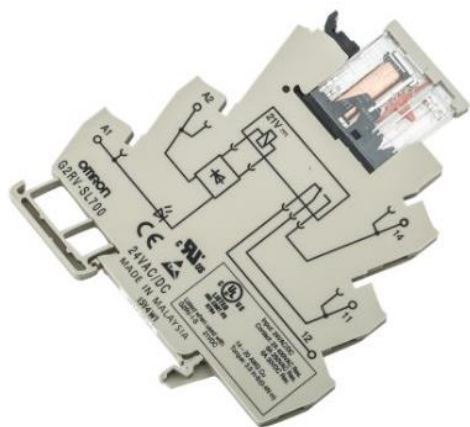


Figura 44. Relé G2RV-1-S 21DC.

Aquests tres relés són els encarregats de obrir/tancar les electrovàlvules d'ompliment de cadascun dels dipòsits (*B1+*, *B2+* i *B3+*). La modificació del connexionat dels relés ha estat la següent:

Taula 5. Modificació realitzada sobre el R13.

RELÉ G2RV - 1 - S 21DC			
R13			
ABANS DE LA MODIFICACIÓ		DESPRÉS DE LA MODIFICACIÓ	
BORNE	ELEMENT	BORNE	ELEMENT
A1	I0.4 (max1)	A1	I0.4 (max1)
A2	GND (-)	A2	GND (-)
14	SENYAL AUTÒMAT	14	
11	VÀLVULA B1+	11	VÀLVULA B1+
12		12	SENYAL AUTÒMAT

Taula 6. Modificació realitzada sobre el R14.

RELÉ G2RV - 1 - S 21DC			
R14			
ABANS DE LA MODIFICACIÓ		DESPRÉS DE LA MODIFICACIÓ	
BORNE	ELEMENT	BORNE	ELEMENT
A1	I0.6 (max2)	A1	I0.6 (max2)
A2	GND (-)	A2	GND (-)
14	SENYAL AUTÒMAT	14	
11	VÀLVULA B3+	11	VÀLVULA B3+
12		12	SENYAL AUTÒMAT

Taula 7. Modificació realitzada sobre el R15.

RELÉ G2RV - 1 - S 21DC			
R15			
ABANS DE LA MODIFICACIÓ		DESPRÉS DE LA MODIFICACIÓ	
BORNE	ELEMENT	BORNE	ELEMENT
A1	I0.8 (max3)	A1	I0.8 (max3)
A2	GND (-)	A2	GND (-)
14	SENYAL AUTÒMAT	14	
11	VÀLVULA B3+	11	VÀLVULA B3+
12		12	SENYAL AUTÒMAT

Observant les taules (*Taula 5 a*

Taula 7) podem observar el perquè d'aquesta modificació. Com és lògic, les electrovàlvules d'ompliment dels dipòsits principalment s'han d'obrir mentre el sensor capacitiu de nivell màxim (*max1*, *max2* i *max3*) no està activat.

El que es va trobar va ser que quan el sensor de màxim estava actiu (dipòsit ple) aquest activava el seu relé corresponent fent obrir l'electrovàlvula d'ompliment.

Aleshores, el que es va fer va ser l'intercanvi de cables del terminal 14 al 12 de tal manera que així aconseguim la funcionalitat desitjada perquè en el moment que la bobina del relé queda activa per l'activació d'un dels sensors de màxim el que fem és donar 0V a l'electrovàlvula així deixant-la en el seu estat de repòs, és a dir, tancada. Si la bobina no està activa (màxim no detectat) el que fem és rebre de l'autòmat la senyal de obrir l'electrovàlvula (+24V).

A més, es va observar que dos dels sis nivells capacitius no funcionaven correctament; un d'ells (*max2*) quan l'aigua entrava en el seu camp d'activació no detectava mentre que l'altre (*min3*) es mantenia encès sempre (hi hagués aigua o no). Això va suposar investigar si aquests nivells s'havien de canviar o es trobava quin era l'error.

Els dos sensors capacitius que no funcionaven eren els següents:

- *max2*: Sensor de nivell màxim del dipòsit 2 (central)
- *min3*: Sensor de nivell mínim del dipòsit 3 (dret)

El sensor de mínim (*min3*) es va intuir que el seu posicionament al dipòsit no era el correcte ja que hi hagués líquid o no en el seu camp d'activació es mantenia encès de tal manera que es va intuir que al estar massa a prop del dipòsit detectava l'estructura d'aquest i no el líquid. Es va optar per incorporar uns gruixos per allunyar-lo del dipòsit. El seu funcionament a partir d'aquest moment va ser correcte.

En el cas del sensor *max2* revisant els bornes de connexionament es va veure que el cable connectat estava sense pelar, així fent impossible la recepció del senyal. Es va pelar el cable, es va tornar a connectar i va funcionar perfectament.

El fet que el sensor *max2* no funcionés degut a això va fer donar-nos conte que la majoria de cables connectats a bornes estaven sense pelar. Es va procedir a revisar cable a cable el seu connexionament a bornes i deixar-los pelats i evitant posteriors problemes de contacte entre bornes i cable. Afegir que, si en un futur es vol treballar sense tenir

problemes de males connexions es molt recomanable canviar tot el paquet de bornes ja que tenen molt de temps i molts d'ells es desconnecten sols.

La maqueta portava molts anys parada la qual cosa això s'ha vist representat en el funcionament de les electrovàlvules.

Hi havia una sèrie de vàlvules que el seu funcionament no era el del 100% ja que a l'hora de tancar les electrovàlvules aquestes no tancaven bé i d'aquesta manera qualsevol aplicació que es volgués implementar hagués estat errònia per pèrdues d'aigua.

Llavors, el que es va fer va ser obrir les electrovàlvules que perdien en posició de repòs (tancades) i netejar-les.

Primer de tot, es va treure la bobina de la electrovàlvula per poder després treure tot el cos. Un cop tret el cos de la vàlvula es va procedir a netejar l'èmbol, la membrana i la molla per tal de tornar a aconseguir una bona estanqueïtat i evitar les pèrdues d'aigua en posició de repòs. A més, també era necessari netejar la cavitat per on passa l'aigua.



Figura 45. Cavitat de l'electrovàlvula amb incrustacions.



Figura 46. Electrovàlvula desmuntada amb incrustacions visibles.



Figura 47. Electrovàlvula netejada.

Per últim, la última de les modificacions ha estat sobre el transductor de pressió ITV1000. Aquest transductor s'ha anul·lat afegint una unió tub-tub i controlant la pressió dels dipòsits directament a través del regulador incorporat en l'estació de tractament d'aire.

Aquesta modificació s'ha dut a terme ja que al no poder connectar-lo al mòdul de sortides analògiques perquè treballa a 4-20mA i la tarja de National Instruments tan sols és capaç de donar tensió doncs es va decidir no tenir en compte aquest regulador de pressió de tal manera que actualment la pressió es regula de forma manual.

Afegir que, amb el mòdul de sortides analògiques que en un principi l'autòmat incorporava aquest no hagués estat anul·lat ja que podríem haver treballat tant amb corrent com amb tensió.

D'altra banda, si jo en aquests moments tingués que muntar des de zero aquesta maqueta per a una aplicació industrial ho faria completament diferent, almenys amb el circuit d'aire.

La meua millora respecte al que ens trobem a l'estació actualment consisteix en tenir dues electrovàlvules monoestables 3/2 activades digitalment (afegir una com la del dipòsit dret a l'esquerre), és a dir, incorporaria i dues electrovàlvules connectades paral·lelament a les entrades de cadascun dels dipòsits (*dip1* i *dip3*) així aconseguint un control totalment estable i no permetre l'entrada d'aire al circuit a l'hora d'omplir els dipòsits d'aigua ja que ens trobem que si volem omplir els dipòsits amb l'aire donat no es pot degut a que la pressió del líquid en circuit es inferior a la de l'aire i d'aquesta manera és l'aire el que entra al circuit (veure *Figura 48*).

D'aquesta manera aconseguiríem un control total i més simple a l'hora de treballar amb aire i líquid, o sigui, si tenim que l'estació està en estat d'ompliment de dipòsits tanquem les dues electrovàlvules. Un cop volem pressuritzar el dipòsit tanquem les electrovàlvules d'aigua per evitar que l'aire entri al circuit i així podem anar alternant el sistema evitant aquest problema d'entrada d'aire al circuit (s'ha de vigilar també sempre que els dipòsits no quedin sense aigua ja que seria un altre cas en el qual aire entraria al circuit i podríem fer malbé la bomba al fer-la treballar en buit).

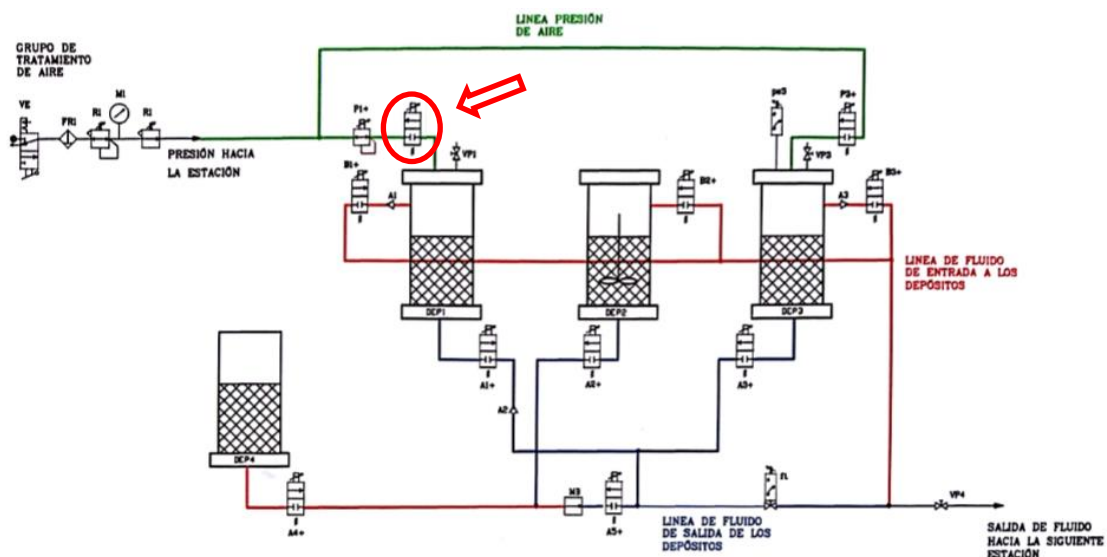


Figura 48. Millora proposada per l'estació de treball IPC201-C.

Per tenir la maqueta en perfectes condicions per un treball òptim es va optar per purgar tot el circuit per evitar que la bomba no treballés en buit en cap moment i poder garantir que no hi ha bombolles d'aire al circuit. S'ha de dir que ha estat complicat aconseguir

purgar al 100% el circuit, tot i així, s'ha aconseguit una millora en el procés ja que la pressió de l'aigua en el circuit ha augmentat així fent-lo més ràpid.

En resum, es pot observar que la posta a punt de l'estació ha suposat molt de temps en aquest projecte fent que alguns dels objectius inicials no s'hagin pogut assolir ja que s'ha estat molt de temps fent tasques de manteniment, cosa que també ha estat molt positiva per resoldre diversos problemes que es poden trobar en una indústria. Així que, es pot dir que al final el projecte s'ha decantat més per la posta a punt de la maqueta i la creació d'una interfície HMI pel control i la monitorització deixant de banda una mica el que es la programació amb PLC, tot i que, s'ha fet un programa per automatitzar la maqueta.



Figura 49. Maqueta neta, modificada i llesta per treballar.

4.4. Pressupost

Taula 8. Pressupost sobre les modificacions realitzades.

PRESSUPOST		
Modificacions del projecte	TASQUES DEL PROJECTE	COST
	Bomba Fadisol C-6000	23,60 €
	Bomba LVM 117	80,86 €
	NI-9263 (Mòdul de Sortida de Voltatge de la Serie C)	469,00 €
	USB-9162 (Hi-Speed USB Carrier)	189,95 €
TOTAL		763,41 €

5. Interfície HMI (SCADA)

En aquest capítol s'explicarà detalladament tot el funcionament de l'SCADA creat pel control i monitorització de les diferents variables de la maqueta IPC201-C. S'explicarà cadascun dels elements integrants en l'aplicació, així aconseguint que qualsevol usuari pugui fer-ne ús, tot i això, el seu funcionament es molt intuïtiu.

Tot el sistema ve definit per la comunicació del PLC i el software de National Instruments LabView a través de la creació de diferents “tags” que s'han definit en els OPC Servers que permetran obtenir el valor de les diferents variables en el seu estat actual.

Aquesta interfície incorpora dos mètodes de funcionament de cara a l'usuari:

- Sistema automàtic
- Sistema manual

Aquest mode el seleccionarem a través del pulsador *Automatic Mode (Default mode)* / *Manual mode*, mostrats a la *Figura 50*.



Figura 50. Automatic Mode (Default) / Manual Mode

Quan el sistema està en automàtic aquest ens permetrà executar el procés definit en el programa de l'autòmat, en canvi, quan tenim el sistema en mode manual l'usuari tindrà accés a l'activació i desactivació de qualsevol de les variables de l'estació.

S'ha de tenir en compte que abans d'arrancar l'SCADA l'usuari haurà d'introduir quin % de líquid voldrà transvasar de cada dipòsit lateral cap al central. Si observem la *Figura 51* es pot veure en quina part de la interfície l'usuari ha de definir la quantitat de líquid a transvasar en %.

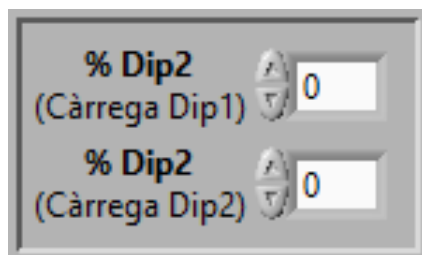


Figura 51. Transvasament de líquids en %.

El % fa referència al del dipòsit central, és a dir, fins quin punt volem carregar el dipòsit central, per exemple, es pot introduir que es vol del *Dip1* al *Dip2* fins el 35% i del *Dip3* al *Dip2* que carregui fins el 70%. En resum, el % introduït en aquesta part de la interfície farà referència al volum del *Dip2* únicament, o sigui, decidim fins quin % carreguem aquest dipòsit.

Si el sistema està en automàtic tenim dues maneres d'arrancar el sistema i dues per aturar-lo (veure *Figura 52*):

- Per arrancar el sistema podem fer-ho amb el pulsador de marxa de la botonera o el pulsador de marxa de l'SCADA.
- Per aturar el sistema tenim el mateix que a l'arrancada, o podem fer-ho per la botonera o per l'SCADA.

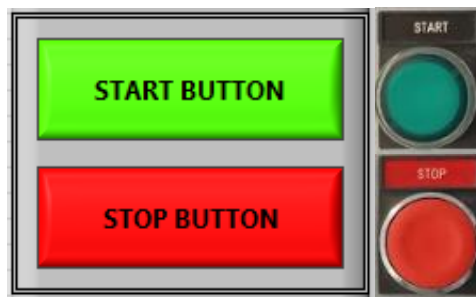


Figura 52. Start Button / Stop Button

Un cop el sistema està en automàtic i hem executat el programa a través del pulsador de marxa, tenim un LED que ens informará de l'estat actual del sistema, és a dir, si el programa s'està executant o no a través d'aquest indicador (veure *Figura 53*).

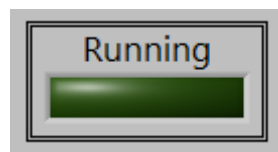


Figura 53. LED d'informació de l'estat del sistema.

Per iniciar el procés d'automatització de la planta s'havia de tenir uns paràmetres que ens marquessin quines eren les condicions inicials per poder començar el procés de mescla de líquids en el dipòsit central.

La interfície incorpora un indicador el qual permetrà saber a l'usuari quan aquestes condicions son OK. Un cop el sistema assoleix aquestes condicions ell mateix comença el procés de transvasament i mescla de productes (*Figura 54*).

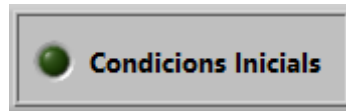


Figura 54. Indicador condicions inicials OK.

Aquestes condicions inicials són les següents:

- El primer dipòsit (*dip1*), el de l'esquerra, ha d'estar al seu màxim de capacitat, és a dir, el sensor de nivell de màxim (*max1*) ha d'estar actiu. Per suposat, que el mínim també ja que la condició encara que sembli lògica s'ha de complir per evitar possibles errors en un futur si el sensor *min1* no funcionés correctament.
- El dipòsit central (*dip2*) ha de tenir actiu únicament el sensor de nivell mínim (*min2*).
- Per últim, el dipòsit dret (*dip3*) ha de tenir les mateixes condicions que el dipòsit esquerre (*dip1*), o sigui, *max3* i *min3* han d'estar actius.

Afegir que, encara que no passi per programa, el dipòsit auxiliar s'ha de anar vigilant el seu nivell de forma visual per evitar l'entrada d'aire al dipòsit i fer treballar la bomba en buit.

Les condicions inicials estan pensades de tal manera que mai es quedin per sota del nivell mínim així evitant el treball en buit de la bomba.

El dipòsit central (*dip2*) com ja s'ha comentat en capítols previs és l'únic que disposa d'un sensor de pressió diferencial per calcular el nivell exacte d'aquest dipòsit. Això ha fet que la funció dels sensors de nivell màxim i mínim (*max2* i *min2*) tinguin una funció de seguretat.

Al poder saber en tot moment el nivell del dipòsit podem fer que els sensors capacitius actuïn com a dispositius de seguretat, és a dir, el *max2* seria un sobre màxim i el *min2* seria un sota mínim, de tal manera que en aquest segon dipòsit el rang de treball el marquem aprofitant els valors que el sensor de pressió diferencial proporciona limitant el rang de treball comprès entre 0 – 100% així augmentant la seguretat d'aquest.

A més, la interfície també incorpora un indicador del cabal circulat pel circuit. Aquest indicador és el que s'adjunta en la Figura 55.

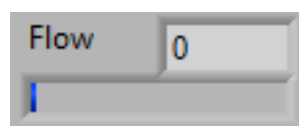


Figura 55. Indicador de cabal.

La interfície és un “mirall” del que és la maqueta de tal manera que ho incorpora tot facilitant-li al usuari una simplicitat en el seu funcionament. El dipòsit esquerra (*dip1*) si observem la *Figura 56* es pot veure clarament quina és la seva estructura.

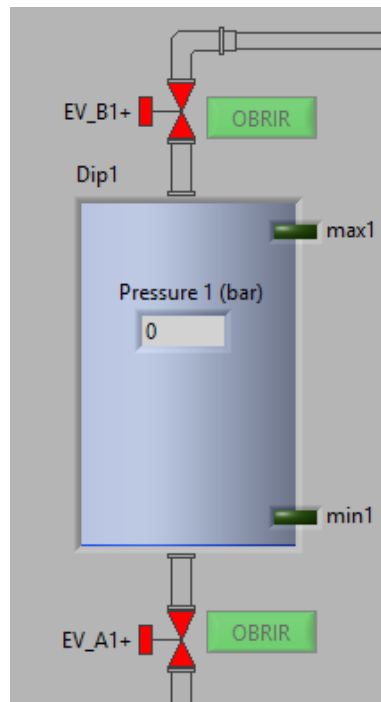


Figura 56. Dipòsit esquerra (*dip1*) - SCADA.

L'electrovàlvula *B1+* és l'encarregada d'obrir el pas per l'ompliment d'aquest, en canvi, la *A1+* és l'encarregada de buidar-lo. Incorpora el seu display de pressió i també els indicadors d'estat dels sensors de nivell *max1* i *min1*.

Al costat de cada electrovàlvula es pot observar que hi ha un pulsador el qual es veu que està inactiu, o sigui, és un indicador que el sistema està en automàtic perquè quan posem el sistema en manual aquests pulsadors són els que ens permetran fer el canvi d'estat de cadascuna d'aquestes electrovàlvules, com també, l'agitador, entre d'altres actuadors.

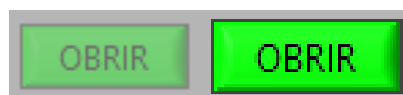


Figura 57. Comparació dels pulsadors d'obrir/tancar depenent del sistema actiu.

El *dip3* és exactament igual que el *dip1* com es pot veure en la *Figura 57*.

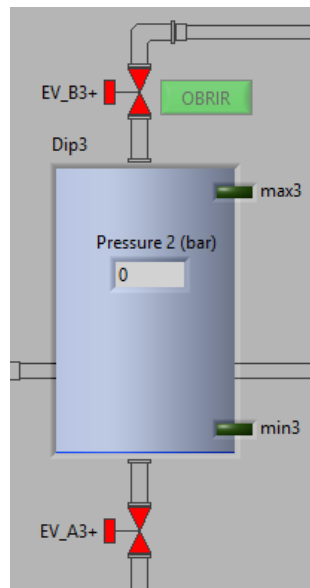


Figura 58. Dipòsit esquerra (*dip2*) - SCADA.

El *dip2* no deixa de ser igual que als altres dos però com s'ha dit anteriorment aquest incorpora més elements que ens permeten extreure més informació de l'estat d'aquest. Observant la *Figura 58* s'aprecia que en aquest dipòsit en podem saber el nivell gràcies al sensor de pressió diferencial, com també la temperatura a través d'una sonda PT100. Incorpora també un agitador (motor CC) que ens permetrà fer les mescleres necessàries durant el temps desitjat.

Per últim, també incorpora unes cèl·lules Peltier les quals seran les encarregades d'escalfar o refredar (segons polaritat) el dipòsit ajudant-se d'un ventilador i un radiador.

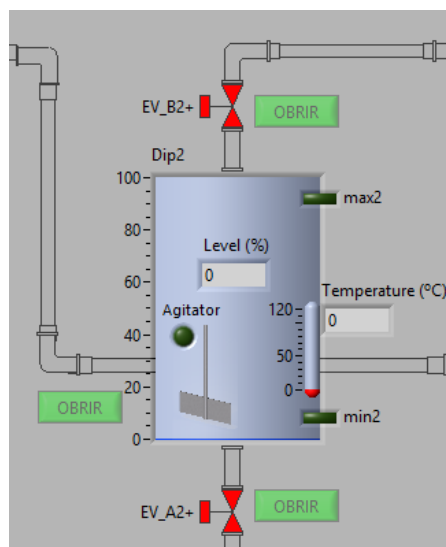


Figura 59. Dipòsit esquerra (*dip3*) - SCADA.

El dipòsit auxiliar també forma part de la interfície tot i que no tingui comunicació ni amb l'autòmat ni amb LabView. La *Figura 59* ens mostra com es veu en l'SCADA.

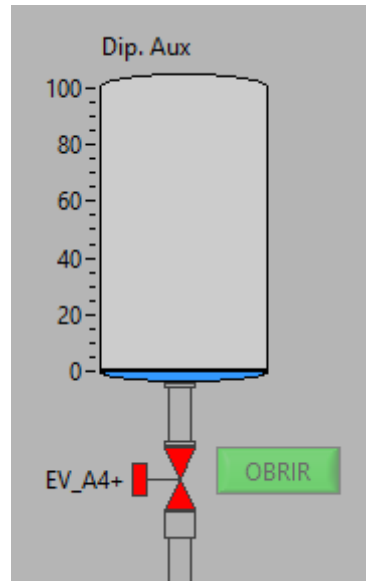


Figura 60. Dipòsit auxiliar - SCADA.

Pel que fa la part de control de l'estació a través de la interfície HMI, l'únic que ens falta explicar és quan el sistema dona per finalitzat el cicle.

El cicle finalitzat és dona quan l'indicador de la *Figura 61* està actiu que és el mateix que dir que la mescla ha finalitzat, és a dir, quan el dipòsit dos ha acabat de fer l'últim pas (mesclar) l'indicador passa a un estat actiu que serà l'encarregat de donar la senyal necessària perquè l'usuari pugui buidar el dipòsit cap a la següent estació productiva (en aquest cas, no tenim següent estació productiva de tal manera que la "mescla" ens torna al dipòsit general per tancar el circuit).

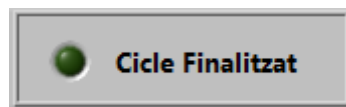


Figura 61. Indicador cicle finalitzat.

Per buidar el dipòsit l'usuari disposa d'un polsador que fins que l'indicador de cicle finalitzat no està actiu per programa no s'habilita el bit necessari per permetre el buidat de la mescla (veure *Figura 62*).



Figura 62. Pulsador de buidat de mescla.

Tota la interfície HMI es basa en la monitorització i el control de la maqueta de tal manera que tant podem visualitzar l'estat d'aquesta com controlar qualsevol element al mateix moment. La interfície està dividida en dos pestanyes (veure *Figura 63*):

- Automàtic / Manual
- Gràfiques

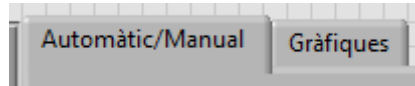


Figura 63. Tab Control.

La primera pestanya (Automàtic / Manual) és la que s'ha explicat en aquest capítol fins aquest punt. Ara es detallarà el funcionament de la segona pestanya, és a dir, s'explicarà el funcionament de la pestanya de les gràfiques. Una pestanya totalment de monitorització i tractament de dades.

El funcionament d'aquesta segona pestanya és molt simple, o sigui, aquesta es basa en una gràfica on s'hi representaran les dades de les quatre variables analògiques a controlar (temperatura, nivell, pressió i caudal) (veure *Figura 64*).

Incorpora dos pulsadors per al tractament de les dades de cada variable. Un és el d'adquisició de dades i l'altre el de netejar valors de la gràfica. Per últim, incorpora un selector de variables i un controlador del *Sampling Time* (temps entre lectura) el qual l'usuari pot modificar al seu gust depenent del que necessiti. Aquest temps s'ha de tenir en compte que la interfície el llegeix com a mili segons (ms), per tant, si volem tenir un mostreig cada segons el $\text{Sampling Time} = 1000 \text{ ms} = 1 \text{ seg}$.

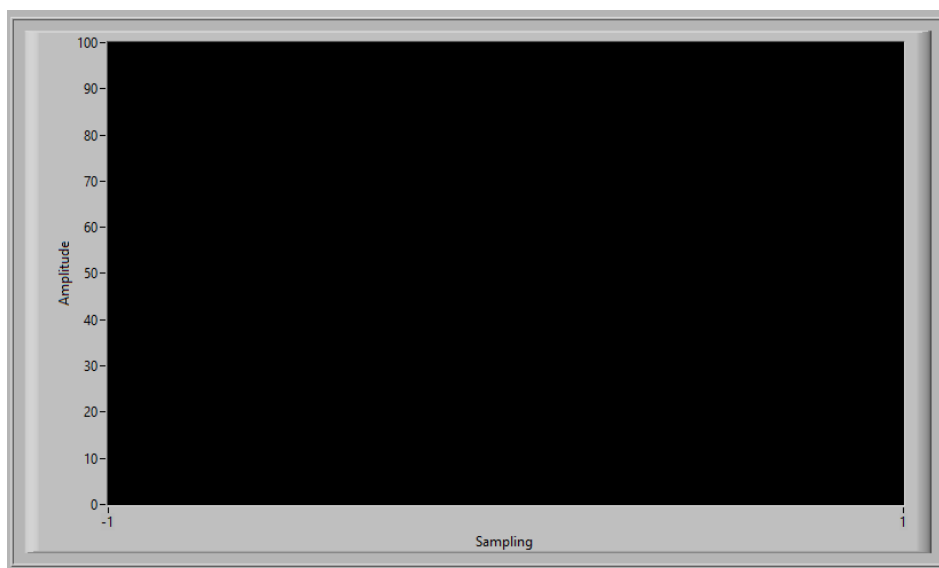


Figura 64. Workspace de les gràfiques de les variables a controlar.

Llavors, el funcionament és molt simple ja que el programa està dissenyat de tal manera que l'usuari pot canviar la monitorització en qualsevol moment en la mateixa gràfica de qualsevol de les quatre variables.

L'usuari és el que decideix si vol netejar la gràfica o no (és opcional en aquest cas), és a dir, per exemple, l'usuari pot estar observant la gràfica de temperatura i canviar el desplegable de les variables i canviar a la gràfica de nivell sense netejar els valors. (Veure *Figura 65*).

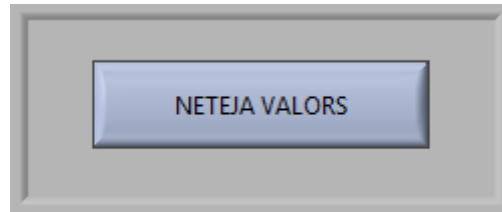


Figura 65. Polsador per netejar els valors de la gràfica.

D'altra banda, si l'usuari decideix desar les dades d'una de les variables el funcionament és diferent per evitar conflicte entre dades en un mateix document. A continuació, s'explica com funciona aquesta pestanya quan l'usuari vol desar les dades en un document:

1. L'usuari tria en el desplegable de les variables quina gràfica vol visualitzar (veure *Figura 66*).

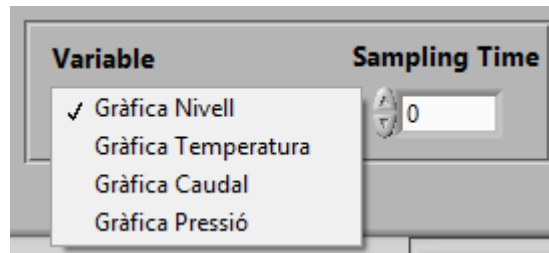


Figura 66. Desplegable de variables i control del *Sampling Time (ms)*.

2. Si l'usuari decideix desar les dades, prem el botó d'adquisició de dades (aquest canviarà de color i de nom, passarà a Atura Adquisició). El polsador és el que es pot veure en la *Figura 67*.

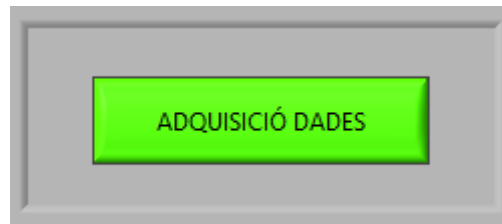


Figura 67. Polsador encarregat d'iniciar el procés d'adquisició de dades.

- Un cop es prem el botó d'adquisició el programa demanarà amb quin nom és vol desar el fitxer i a quina direcció del nostre ordinador (l'arxiu que es crea per defecte és un document amb l'extensió *.xls [Excel]) (veure *Figura 68*).

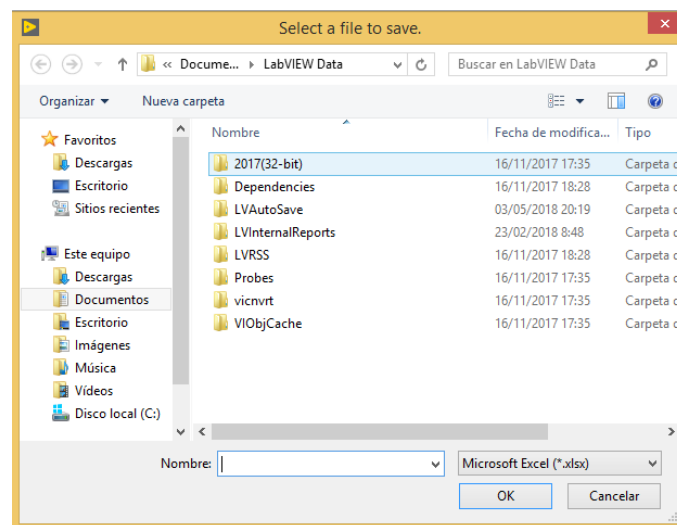


Figura 68. Finestra emergent per desar les dades.

- Automàticament la interfície neteja els valors de la gràfica i comença a escriure els valors (segons el *Sampling Time*) en l'arxiu que s'ha anomenat i desat anteriorment.
- Durant el procés d'adquisició de dades el desplegable de les variables queda inactiu per no permetre canvis de variables i tenir conflicte de dades en el nostre arxiu. Aquest arxiu ens permetrà tractar les dades de la manera que nosaltres necessitem.
- L'usuari sempre tindrà en tot moment un indicador del valor actual de cada variable. La *Figura 69* mostra com és aquest indicador.

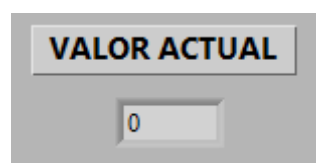


Figura 69. Indicador del valor actual de la variable en temps real.

7. Per últim, quan l'usuari decideix que les dades desades són suficients procedeix a prémer el botó de Atura Adquisició (veure *Figura 70*).

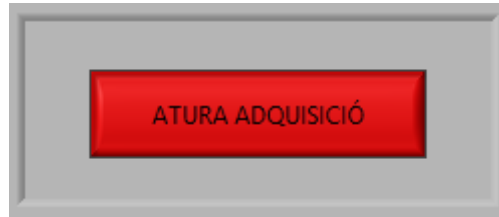


Figura 70. Polsador encarregat d'aturar el procés d'adquisició.

Per últim, només afegir que la interfície té un polsador d'aturada de comunicació entre l'autòmat i l'SCADA. Aquest polsador es troba ubicat a l'extrem inferior dret (veure *Figura 71*).



Figura 71. Polsador *Finalitzar comunicació*.

A continuació, s'adjunten la *Figura 72* i *Figura 73* que mostren el resultat final de les dues pestanyes de la interfície HMI creada per l'estació de treball IPC201-C.

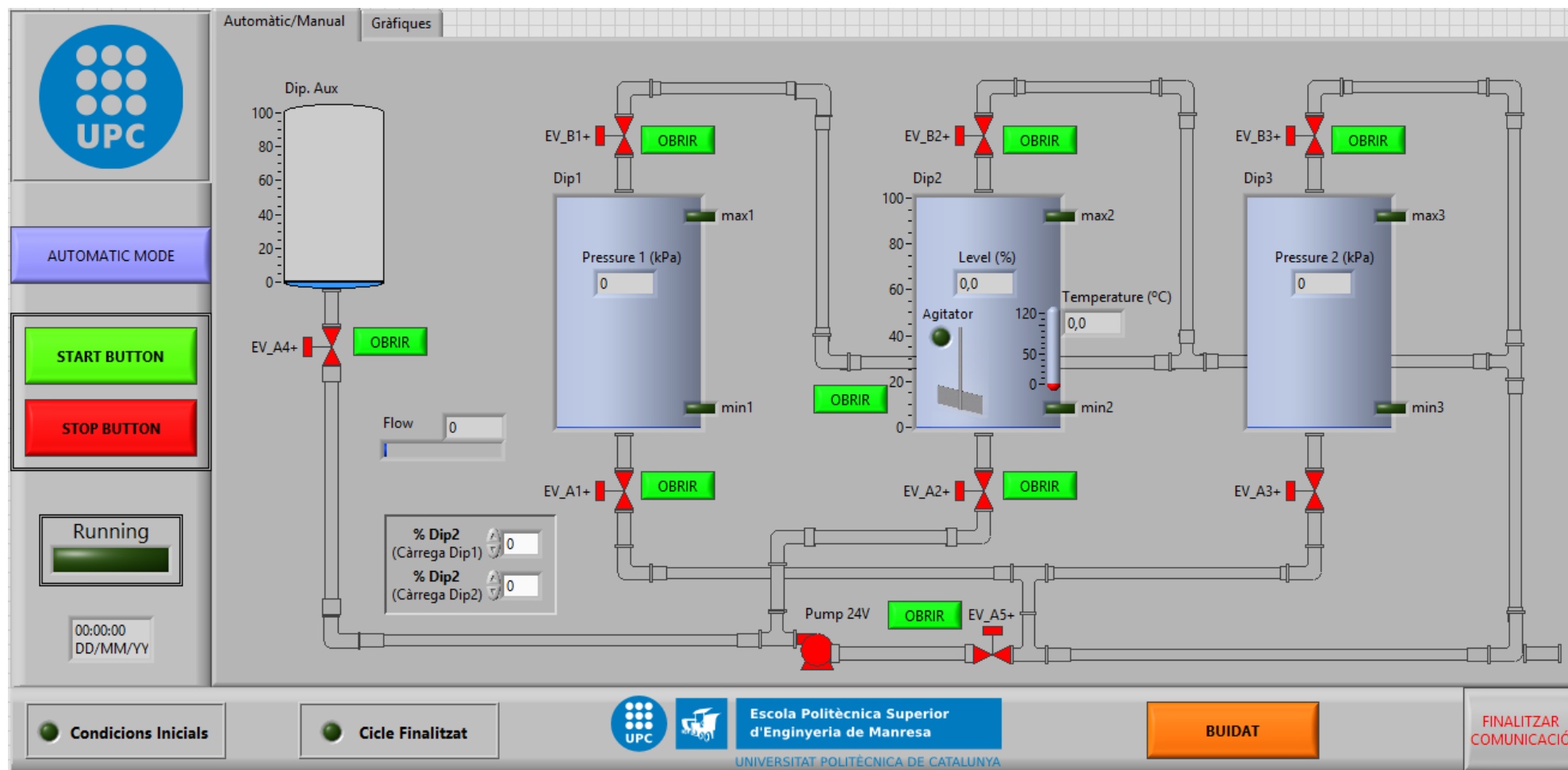


Figura 72. Pestanya "Automàtic / Manual" de la interfície HMI.

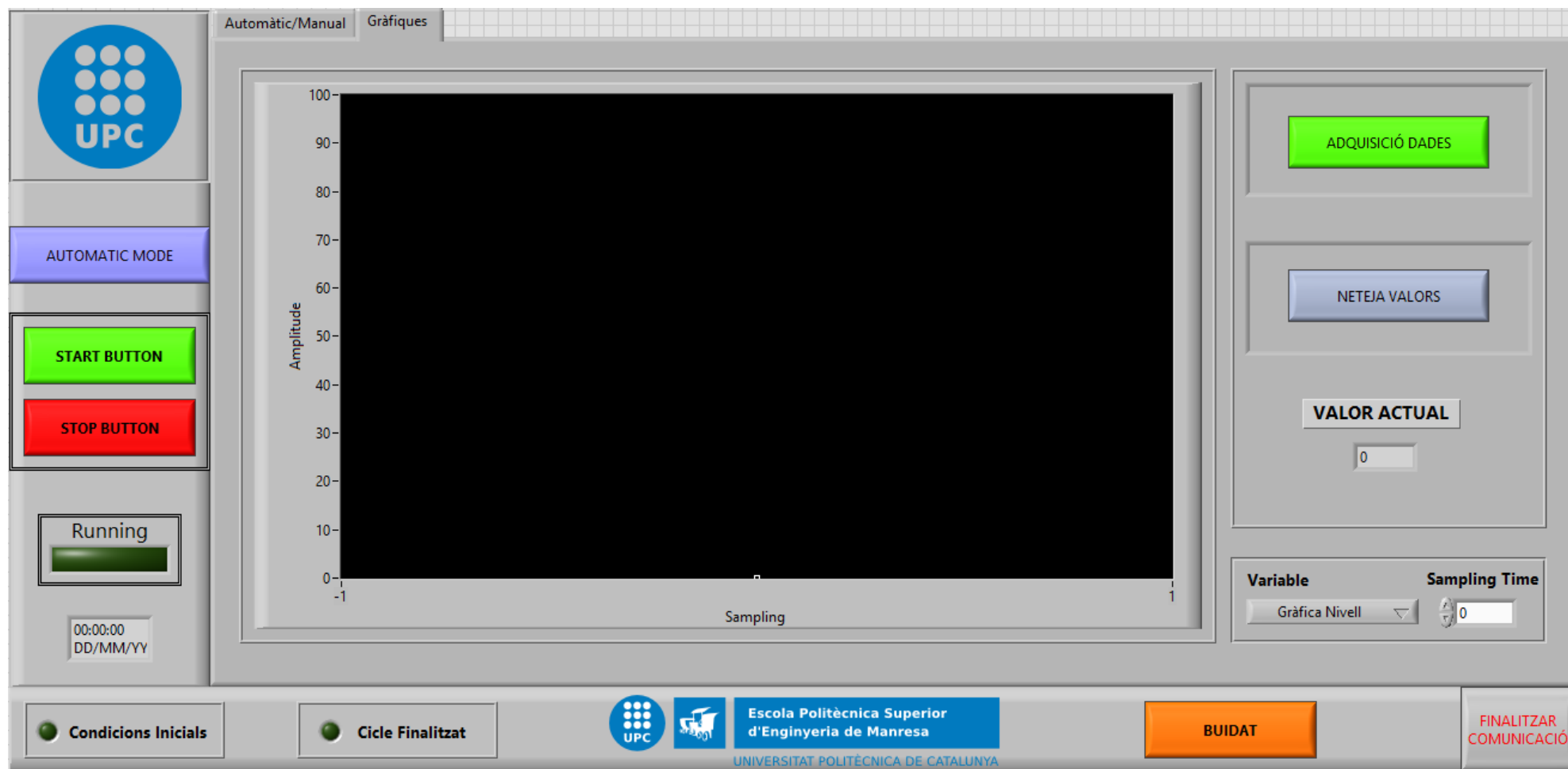


Figura 73. Pestanya "Gràfiques" de la interfície HMI.

6. Regulació i control de variables

Les variables contínues a controlar en la maqueta són les quatre que es porten comentant al llarg de tot el projecte:

- Control de temperatura
- Control de nivell
- Control de pressió
- Control de caudal

Totes aquestes variables tant poden ser controlades amb un PID industrial (E5CN de Omron) o a través d'autòmat. En el nostre cas, per falta de temps, s'han controlat totes a través de PLC i amb els controladors PID industrials l'únic que s'ha fet és utilitzar-los de display per veure visualment els valors de les variables de caudal, nivell i temperatura.

A més, el sistema a l'estar supervisat per una interfície SCADA la regulació de les variables es fa amb l'autòmat ja que és la manera més eficient per tal de crear una bona comunicació entre la interfície i l'autòmat aconseguint una monitorització de les dades a temps real de totes les variables.

Tot el que estem explicant fa referència a una regulació automàtica i, per aquest motiu, es bastant recomanable realitzar de cada variable el seu diagrama de blocs per determinar el tractament de la variable a controlar.

L'automatització del sistema està basada en una estructura de llaç tancat, és a dir, el sistema espera una consigna (a) la qual serà comparada amb la realimentació del sensor i d'aquesta manera el sistema mesurarà la diferència entre el valor que el sensor rep i la consigna que s'espera. Aquesta variable creada per la diferència entre la consigna i el sensor serà la que el regulador tractarà i enviarà a l'actuador així creant un llaç tancat [18].

Per fer-se una idea de com treballa un llaç tancat s'adjunta la *Figura 74* la qual és un esquema d'un sistema amb una estructura en llaç tancat.

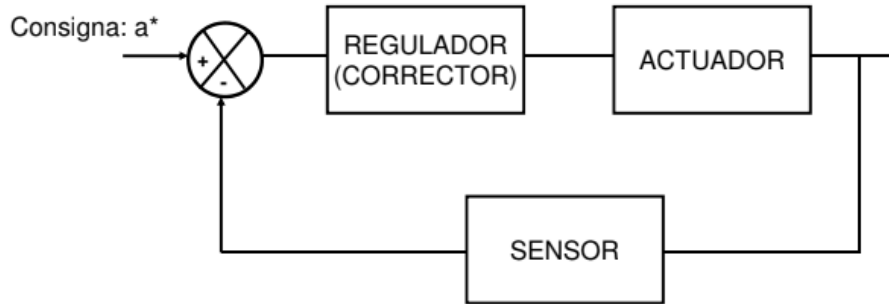


Figura 74. Sistema enllaç tancat.

6.1. Control de temperatura

Pel control de temperatura del dipòsit central s'utilitza una sonda PT100 amb un rang de temperatures de 0°C a 120°C. Aquesta sonda incorpora un cap amplificador del tipus KD que permetrà oferir una sortida de corrent de 4 a 20mA, ja que sense el cap amplificador al ser la sonda del tipus RTD el que varia és la resistència interna de la sonda.

La linealitat d'aquesta sonda fa referència a la fórmula ja descrita en l'apartat 3.2.2.

La recta característica d'aquesta sonda és on la resistència varia en funció de la temperatura. Aquesta recta és la real de la sonda PT100 que s'utilitza en la maqueta. Tot i això, la recta en la que realment rebem informació és la que ja s'ha realitzat l'escalat, o sigui, en la qual el corrent varia de 4 a 20mA en funció de la temperatura. En la *Figura 75* es pot veure la linealitat d'aquesta sonda.

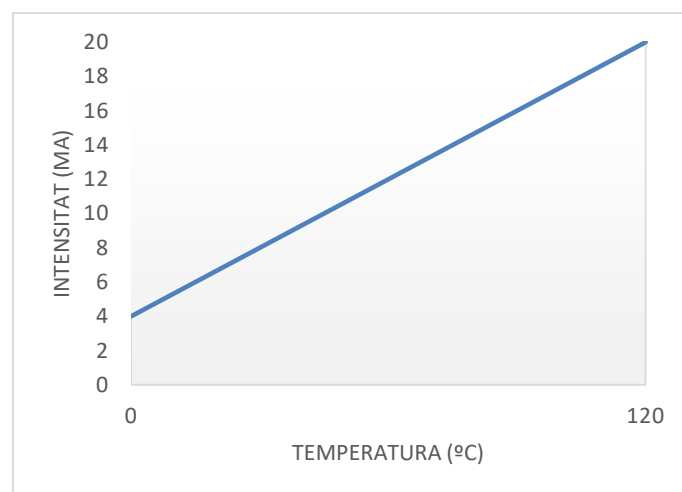


Figura 75. Recta característica de la sonda PT100 (Escalada).

Per a poder mostrar la lectura del sensor a la interfície s'han de tractar les dades de tal manera que l'usuari per pantalla rebi el valor real de la temperatura, és a dir, és necessari crear un escalat en el programa de l'autòmat per poder enviar la dada real a l'SCADA.

La funció utilitzada per aconseguir aquest escalat ha estat la que el software de programació de Omron inclou com a SCL(194) [15].

Aquesta funció és molt utilitzada per la conversió de dades d'un format a un altre, mitjançant l'ús d'una equació lineal (com és el nostre cas). Per exemple, si ens fixem en el gràfic de la *Figura 76*, els dos punts de la recta (A_s , A_d) i (B_s , B_d) ens defineixen una recta. Aquesta recta permet determinar el valor de sortida R a partir d'un valor S .

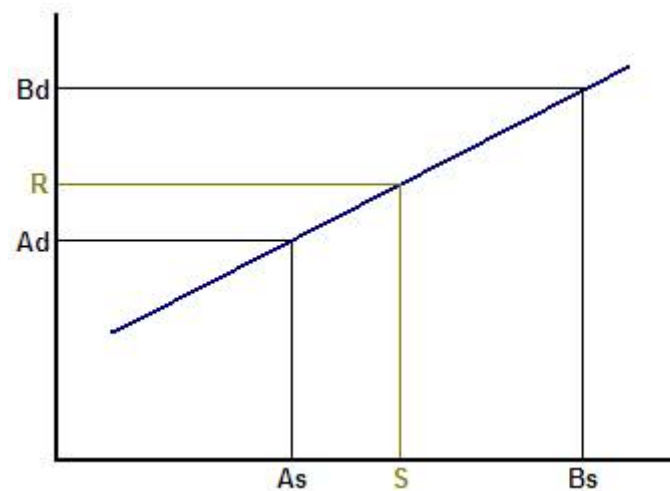


Figura 76. Gràfica d'una equació lineal.

En el nostre cas, tenim una entrada analògica en el nostre PLC. Aquesta entrada ens dona uns valors compresos entre 4 i 20mA. A l'hora de configurar i programar és necessari saber com funciona l'element, en quin rang de corrent o tensió, però aquests valors no són representatius cap a l'usuari si li diem que la temperatura del dipòsit central es troba, per exemple, a 6,78mA.

Per tant, es necessària la conversió d'aquestes dades. La recta de la *Figura 76* ve definida pels punts:

- $A_s = 4$ (mA)
- $B_s = 20$ (mA)
- $A_d = 0$ (°C)
- $B_d = 100$ (°C)

La funció SCL(194) quan li diem quins són els punts de la recta és l'autòmat el que s'encarrega de realitzar els càlculs necessaris per realitzar l'escalat adient. S'ha de tenir en compte que aquest funció converteix els valors d'entrada en hexadecimal (HEX) a BCD (*Binary Coded Decima*) en la sortida de tal manera que, els punts As i Bs s'han d'escriure en HEX i els punts Ad i Bd en BCD. El símbol de diagrama de relés en el programa es mostra en la *Figura 77*.

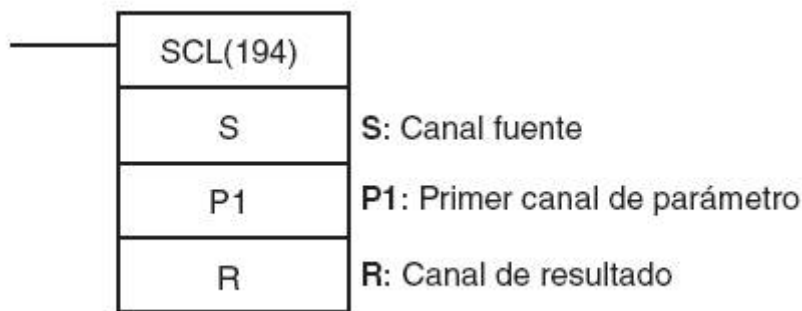


Figura 77. Funció SCL(194) en diagrama de relés.

Un cop definida la recta amb els valors P1 (Ad – BCD), P2 (As – HEX), P3 (Bd – BCD) i P4 (Bs – HEX) i quan l'execució del programa sigui ON la funció agafarà el valor d'entrada S i el mostrarà en el canal de sortida R.

Totes les variables contínues de les quals en fem el control s'han escalat de la mateixa manera, utilitzant la funció SCL(194).

Per últim, l'automatització d'aquestes variables segueixen una estructura en llaç tancat. L'estructura en llaç tancat de la variable temperatura és la següent:

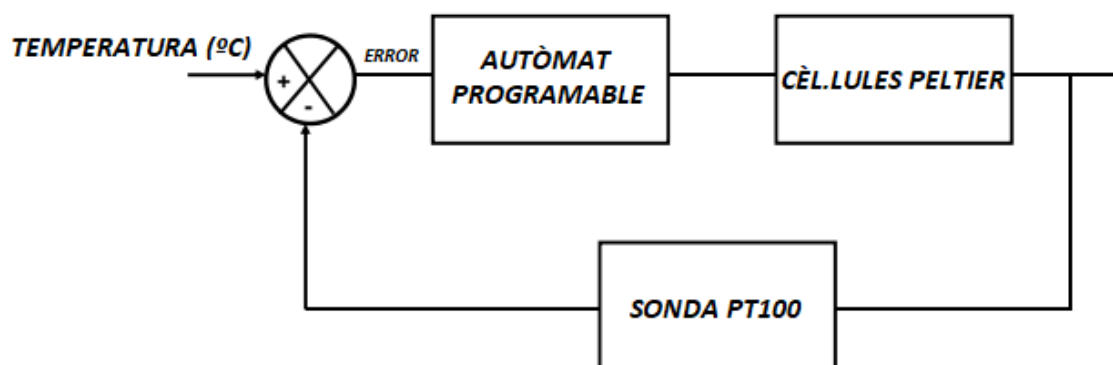


Figura 78. Control de temperatura en llaç tancat.

6.2. Control de nivell

Pel control del nivell del dipòsit central s'utilitza un sensor de pressió diferencial baixa (PSE550 – SMC) explicat en l'apartat 3.2.4.

Aquest sensor necessita una entrada a pressió atmosfèrica (entrada de pressió baixa) i la pressió del fons del dipòsit (entrada de pressió alta). D'aquesta manera el sensor es capaç de mesurar la pressió diferencial baixa.

El pressòstat ens entrega una sortida analògica que varia en un rang de treball de 1 a 5V per determinar una pressió d'entre 0 i 2kPa. La recta característica d'aquest sensor ve definida per la relació entre la tensió d'entrada i el diferencial de pressió dintre del dipòsit.

Depenent de la diferencia de pressió en aquest dipòsit rebrem una senyal la qual tractarem per tal de poder escalar el sistema a un rang de nivell basat en %, és a dir, nivell totalment ple (100%) i nivell totalment buit (0%). Tot i que, aquests siguin els límits del nostre dipòsit, el rang de nivell estarà limitat pels sensors capacitius de seguretats que coneixem com a sobre màxim i sota mínim que fan que treballem en un rang de treball més limitat però més segur.

Per tant, per treballar en uns marges segurs i no permetre el vessament ni el treball en buit de la bomba el dipòsit central quedarà limitat en un rang d'entre 20% (mínim) i 80% (màxim).

La linealitat d'aquest sensor es pot observar en la *Figura 79* que s'observa a continuació:

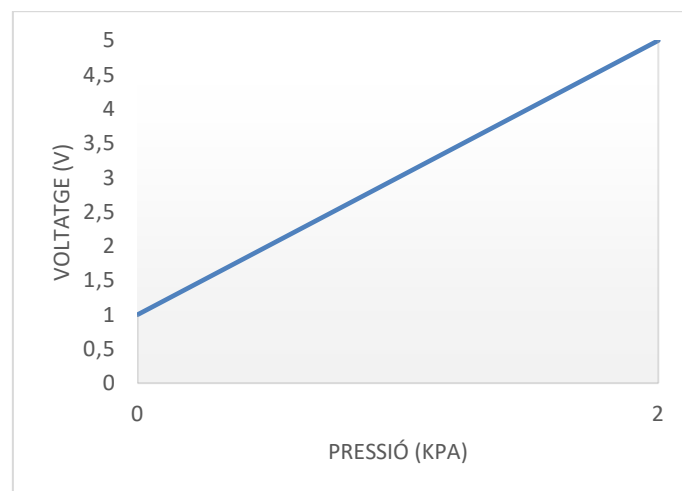


Figura 79. Recta característica del sensor de pressió diferencial (Nivell).

Com s'ha comentat anteriorment, totes les variables contínues amb les quals es treballen en aquest projecte són escalades per programa de PLC amb la funció que Omron incorpora per poder fer els escalats SCL(194).

La regulació del nivell del dipòsit central es basa en una estructuració a llaç tancat, és a dir, té realimentació. El diagrama de blocs de la variable de nivell és el següent:

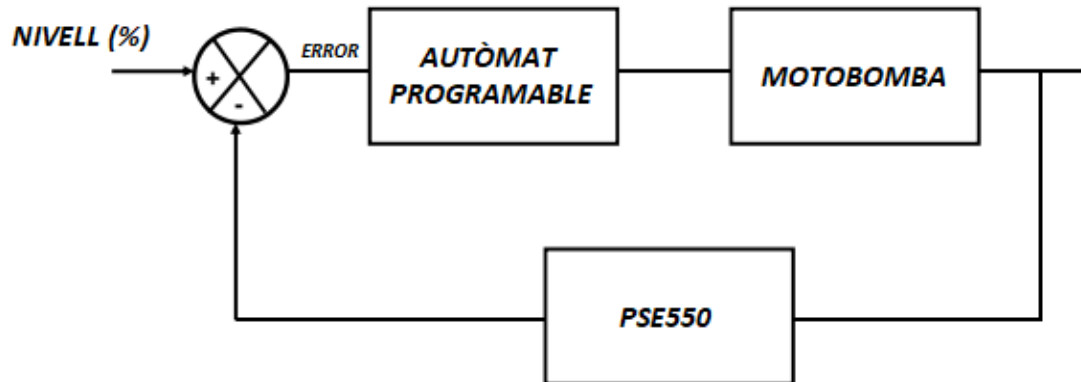


Figura 80. Control del nivell en llaç tancat.

En el diagrama de la *Figura 80* s'observa com l'actuador encarregat per dur a terme l'ompliment del dipòsit central (augment del nivell) és la motobomba, tot i això, s'ha de tenir en compte que les electrovàlvules encarregades d'obrir el pas cap a l'ompliment del dipòsit central també són actuadors que podrien tenir el seu propi control en llaç tancat ja que actuen directament sobre el nivell del dipòsit.

6.3. Control de pressió

Pel control de pressió de l'estació es troben dos pressòstats en els dipòsits dels laterals, és a dir, en el *dip1* i en el *dip3*. Per defecte, la maqueta incorpora el grup de tractament d'aire i a més, incorpora un transductor ITV1000 de pressió per tal de regular aquesta pressió i una electrovàlvula per deixar passar la pressió cap al *dip3*.

Després de les modificacions implementades, el transductor ITV1000 s'ha deshabilitat així regulant directament des del grup de tractament d'aire la pressió del dipòsit lateral esquerre (*dip1*) de tal manera que aquesta pressió serà la mateixa al *dip3* un cop la electrovàlvula P3+ s'activi per deixar el pas de l'aire i poder pressuritzar aquest dipòsit.

Aquesta pressió és pot visualitzar a través dels sensors de pressió ISE40. Aquests poden parametritzar-se al gust de l'usuari, tot i que, en el nostre cas utilitzarem la unitat de mesura en kPa (*Figura 81*).



Figura 81. Sensor ISE40 de SMC.

En aquest cas, el control de pressió es basa en un sistema d'automatització en llaç obert degut a no fer servir el transductor ITV1000, o sigui, la realimentació necessària per tenir una estructura en llaç tancat seria la senyal procedent del ITV1000 i en aquest cas deixem de disposar d'aquesta senyal per fer un control de la pressió a través del grup d'aire (Figura 82).

La senyal d'aquests displays serà la que l'autòmat tractarà per després enviar a la nostra interfície HMI i permetre a l'usuari veure-la per pantalla.

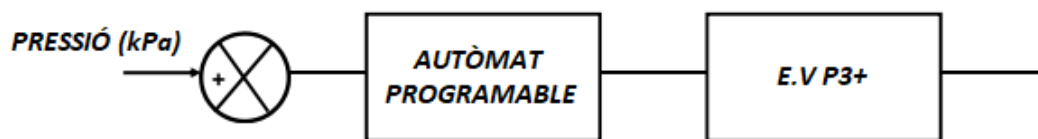


Figura 82. Estructura a llaç obert pel control de pressió.

6.4. Control de cabal

La variable de cabal es controla a través d'un sensor de cabal o cabalímetre de la sèrie PF2W de SMC. Aquest sensor ens proporciona una sortida analògica de corrent en el rang de 4 a 20mA.

La resposta d'aquest cabalímetre també és característica per la seva linealitat proporcional. El rang de mesura d'aquest cabalímetre és de 1.7 a 17l/min. La recta característica és la que s'observa a la figura següent:

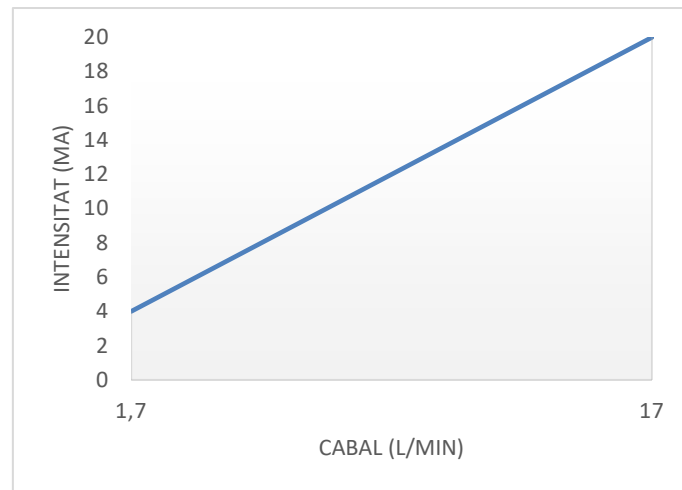


Figura 83. Recta característica del sensor de pressió diferencial (Cabal).

Aquesta senyal analògica és pot visualitzar a través del display de cabal de la sèrie PF2W3. La unitat de mesura d'aquest display per defecte és de l/min ja que ja estan preparats per anar interconnectats amb els cabalímetres de SMC (*Figura 84*).

La senyal d'aquest displays serà la que l'autòmat tractarà per després enviar a la nostra interfície HMI i permetre a l'usuari veure-la per pantalla.



Figura 84. Flow switch de la sèrie PF2W3 de SMC.

La regulació del cabal es basa en una estructuració a llaç tancat, és a dir, té realimentació. El diagrama de blocs de la variable de nivell és el següent:

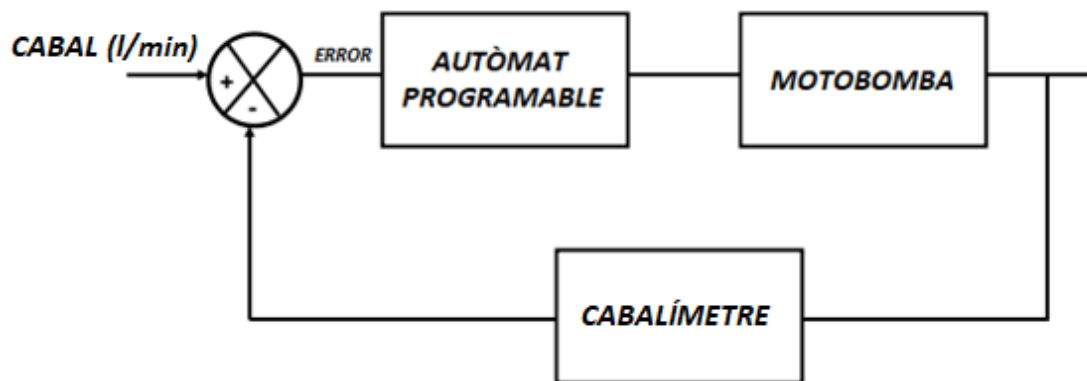


Figura 85. Estructura a llaç tancat pel control de cabal.

7. Conclusions

Arribats a aquest punt, és el moment de valorar i comentar les conclusions extretes d'aquest projecte.

La maqueta IPC201-C està pensada per realitzar pràctiques a una escala menor del que seria una estació en una indústria. D'aquesta manera es valora molt positivament el fet de poder treballar-hi i poder començar a tractar amb les funcionalitats que en qualsevol indústria es troba i en un futur poder realitzar implementacions funcionals.

Si recordem els objectius inicials, teníem com a punt de partida:

- Disseny i control del mòdul de regulació i control de variables analògiques mitjançant la creació d'una interfície HMI (SCADA).
- Introduir dos modes de funcionament (manual i automàtic)
- Control de les quatre variables (cabal, pressió, temperatura i nivell).
- Interfície simple i ràpida pel control d'un usuari.
- Programar a través de l'autòmat programable una aplicació industrial en l'estació de treball.
- Deixar a punt l'estació per a futures aplicacions.

Fent referència a aquests punts definits a l'inici del projecte farem les conclusions del projecte definint quins objectius s'han complert i quins no i la seva justificació.

Partint des dels objectius inicials podem dir que la majoria d'ells s'han aconseguit amb una funcionalitat excel·lent.

Dintre dels objectius, el més important i el que teníem definit com a objectiu a complir era el del disseny i control del mòdul de regulació de control de variables analògiques a partir de la creació d'una interfície HMI (SCADA).

Aquest objectiu s'ha assolit, tot i que, és molt complicat parlar de complert o no en aquest objectiu ja que és un àmbit el qual sempre està marcat a un sistema de millora contínua ja que sempre hi hauran modificacions en el que és l'estació.

No obstant, la utilitat de l'estació per a realitzacions experimentals és totalment funcional. Això s'ha aconseguit a partir de la implementació dels dos modes de funcionament: Automàtic i Manual. Això ens permet parlar d'un altre objectiu assolit dels marcats.

El fet de treballar per a l'automatització d'un sistema a petita escala permet a l'usuari que hi treballa a assolir uns coneixements d'automatització bons de cara a un futur industrial.

Les quatre variables a controlar són la temperatura, el nivell, la pressió i el cabal. Pel que fa les variables, nivell i temperatura, s'han aconseguit visualitzar a través de la interfície amb facilitat. En canvi, les variables de pressió i cabal han estat de fàcil visualització en els displays de la maqueta i de més complexitat en el moment d'escalar a través de programa i poder-les visualitzar per pantalla.

El que s'ha aconseguit dia a dia, ha estat la millora contínua de la interfície per mirar de arribar a aconseguir una simplicitat i eficiència cap a l'usuari que tingui que manipular l'estació a través de la interfície. Al ser una interfície HMI depenent de l'usuari sempre hi haurà opinions cap a una millora d'aquesta.

Centrant-nos en l'autòmat, s'ha de dir que no era el nostre principal objectiu la creació d'un programa òptim, si no que el que es volia crear era un petit programa el qual pogués mostrar la funcionalitat de la interfície. Per suposat que era necessari treballar amb la programació de l'autòmat per tot el que són els "tags" que permeten la comunicació (OPC Servers) amb LabView.

Al llarg del projecte ja s'ha parlat dels problemes i modificacions que hi ha hagut, tot i això, és important dir que degut a que el mòdul de sortides analògiques no funcionava correctament s'han tingut que buscar solucions a curt termini de tal manera que el més ràpid ha estat el seu canvi per una tarja de voltatge de National Instruments, la qual cosa ha suposat una limitació en el projecte ja que diverses sortides s'han tingut que accionar manualment per la consecució del procés productiu que s'ha implementat per programa.

D'altra banda, si parlem de l'últim dels objectius, el de deixar a punt l'estació per a futures aplicacions també s'ha assolit ja que és lògic que per utilitzar-la primer de tot s'havia de tenir a punt l'estació i deixar-la en un correcte estat. Això ha suposat bastant temps en el marc del projecte ja que ha estat, paral·lelament amb el disseny de la interfície, els punts més importants.

SMC proporciona una sèrie de manteniments periòdics per mantenir la maqueta en un correcte estat i evitar possibles deterioraments. El fet de no mantenir aquests manteniments periòdics a provocat que s'hagi hagut de dedicar molt temps a la posta a punt de la maqueta.

Per a futures ocasions seria molt recomanable tenir en compte els preventius (i els possibles correctius que hi pugin haver) per evitar aquestes situacions.

El sistema que hi havia implementat anteriorment ha suposat una dificultat afegida en el moment del seguiment del control de l'estació, tot i que, el fet de tenir numerats els cables ha fet més fàcil aconseguir fer funcionar la maqueta amb la màxima qualitat possible.

Tot i els problemes que hi ha hagut al llarg de tot el temps que s'ha desenvolupat aquest projecte s'ha de dir que valorant en aquest moment la feina feta, personalment, he de dir que inicialment el projecte anava encaminat cap a l'àmbit més de aconseguir fer un programa amb l'autòmat molt desenvolupat per a reproduir un procés productiu molt elaborat, però valoro molt positivament el fet de que s'hagi complicat tant el tema de l'estat de la maqueta ja que s'ha pogut desviar el projecte cap a l'àmbit del manteniment industrial, un àmbit el qual en tinc un gran interès i aquest projecte ha pogut fer aprendre nous coneixements sobre molts elements que s'utilitzen en molts àmbits.

En un principi, ho vaig veure bastant desmotivant pel fet que semblava que l'inici i el final del projecte fos gairebé el mateix però la feina realitzada i les hores dedicades per aconseguir deixar la maqueta en el millor estat possible ha estat molt satisfactori a nivell personal i de cara a un futur enginyer.

Bibliografía

- [1] Autómatas. (13 de Marzo de 2011). *infoPLC*. Obtenido de <http://www.infoplcn.net/descargas/13-omron/776-escalado-de-una-entrada-analogica-de-4-20ma-cj1-ad041-cj1m>
- [2] Burkert. (s.f.). *Burkert Fluid Control Systems*. Obtenido de <https://www.burkert.com/en>
- [3] ETSEIB. (17 de Diciembre de 2010). *Instrumentació i mesura de fluids*. Obtenido de www.lanasarrate.es/files/20101218192606_0427_4fccd2e2-13a3-443a-a117-c5febc15594e.pdf
- [4] Fadisel. (s.f.). *Fadisel*. Obtenido de <https://fadisel.com/es/bombas-solares-12v/1241-bomba-solar-de-12v-fadisol-c-6000.html>
- [5] Mar Gómez. (9 de Febrero de 2017). *ElTiempo.es*. Obtenido de <https://noticias.eltiempo.es/estos-vortices-remolinos-cerca-canarias/>
- [6] Mundo digital. (s.f.). *¿Qué es el Efecto Peltier?* Obtenido de <http://www.mundodigital.net/que-es-el-efecto-peltier/>
- [7] National Instruments. (September de 2003). *Introducción a LabView*. Curso de Seis-Horas. Austin, Texas, USA.
- [8] National Instruments. (2003, April). *LabView. User Manual*. Austin, Texas, USA.
- [9] National Instruments. (s.f.). NI 9263.
- [10] National Instruments. (n.d.). *Tutorial: LabView Basics*. Retrieved from <https://k12lab-support-pages.s3.amazonaws.com/lvbasichome1.html>
- [11] Omron (InfoPLC) - Factory Automation. (s.f.). *Regulación con programa de PLC*.
- [12] Omron (infoPLC). (s.f.). *Introducción a los PLCs - Programación de Lógica 3*.
- [13] Omron. (s.f.). *Guía rápida módulos analógicos CJ1W-AD041-V1/AD081(-V1)/CJ1W-DA021/DA041*.
- [14] Omron. (s.f.). *Omron España*. Obtenido de <https://omron.es/es/home>
- [15] Omron. (s.f.). *Programmable Controllers. PROGRAMMING MANUAL*.

- [16] Pepperl + Fuchs. (s.f.). *Sensor capacitivo CBN10-F46-E2*. Obtenido de https://www.pepperl-fuchs.com/spain/es/classid_144.htm?view=productdetails&prodid=1884
- [17] Sensing. (s.f.). *Sensores de presión diferencial*. Obtenido de http://www.sensores-de-medida.es/sensing_sl/SENSORES-Y-TRANSDUCTORES_35/Sensores-de-presión_107/Sensores-de-presión-diferencial_165/
- [18] SMC. (10 de Septiembre de 2013). Control de procesos IPC201-C. Pontevedra.
- [19] SMC International Training. (s.f.). *REGULACIÓN Y CONTROL DE VARIABLES ANALÓGICAS (MANUAL DE USUARIO)*.
- [20] SMC Pneumatics. (s.f.). *SMC Pneumatics powered by orange coast pneumatics*. Obtenido de <http://www.smc-pneumatics.com/>
- [21] SMC. (s.f.). *SMC*. Obtenido de www.smces.es/
- [22] SMC. (s.f.). *SMC International Training*. Obtenido de Automatización: <https://www.smctraining.com/webpage/indexpage/311/>
- [23] Tknika. (s.f.). Actividad 2: Configuración IP del Autómata Programable vía serie.
- [24] Tknika. (s.f.). Actividad 3: Comunicación PC-PLC vía Ethernet.
- [25] Universidad Tecnológica de Pereira. (2002). Curso basico LabView 6i. Pereira.
- [26] University College of Southeast Norway. (2016, October 28). Data Acquisition in LabVIEW.
- [27] WIKA España. (s.f.). *Termoresistencia PT100*. Obtenido de https://www.wika.es/landingpage_pt100_pt1000_es_es.WIKA